Über den Einfluß des Schmiedens auf die Eigenschaften eines weichen Flußeisens.

Von der

Kgl. Technischen Hochschule zu Breslau

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

genehmigte

Dissertation.

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. Ludwig Lauber

aus Essen a. d. Ruhr.

Referent: **Prof. O. Simmersbach.**

Korreferent: **Prof. Dr.-Ing. P. Oberhoffer.**

Tag der mündlichen Prüfung: 2. November 1914.

Breslau 1915.

Buchdruck: Buchdruckerei F. W. Jungfer, Breslau.

Steindruck: Druckerei Zander, Breslau.

56410

Über den Einfluß des Schmiedens auf die Eigenschaften eines weichen Flußeisens.

Von der

Kgl. Technischen Hochschule zu Breslau

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

genehmigte

Dissertation.

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. Ludwig Lauber

aus Essen a. d. Ruhr.

Referent: **Prof. O. Simmersbach.**

Korreferent: **Prof. Dr.-Ing. P. Oberhoffer.**

Tag der mündlichen Prüfung: 2. November 1914.

Breslau 1915.

Buchdruck: Buchdruckerei F. W. Jungfer, Breslau.

Steindruck: Druckerei Zander, Breslau.

Erscheint auch auszugsweise in „Stahl und Eisen“.

Meinen lieben Eltern gewidmet.

Über den Einfluß des Schmiedens auf die Eigenschaften eines weichen Flußeisens.

Über den Einfluß des Schmiedens auf die Eigenschaften des Eisens liegen trotz der Bedeutung dieser Frage für die Praxis nur wenige Arbeiten in der Literatur vor. Die Mehrzahl davon ist älteren Datums und mit den damaligen, unvollkommenen Hilfsmitteln und Prüfungsmethoden durchgeführt. Eine orientierende Arbeit auf Grund neuzeitlicher Anschauungen und Untersuchungsmethoden veröffentlichte Oberhoffer[1]). Während man sich früher mit der Feststellung der Bruchfestigkeit, Kontraktion und Dehnung begnügte, untersuchte Oberhoffer das Material außerdem noch auf seine Fließgrenze, Härte, Schlagfestigkeit, Korngröße des Ferrits und Löslichkeit in verdünnten Säuren, Faktoren, die zur Kennzeichnung des Schmiedezustandes eines Materials wertvolle Dienste leisten. Als Ausgangsmaterial benutzte Oberhoffer ein roh gegossenes Material mit 0,11 % C, 0,6 % Mn, 0,4 % Si, 0,03 % P, 0,035 % S, im Gegensatz zu älteren Forschern, die Bleche verwandten, welche vor dem Schmieden durch Walzen bereits eine Formänderung erlitten hatten. Aus diesem Grunde kommen die älteren Arbeiten zum Vergleich mit der vorliegenden nicht in Betracht, da lediglich das Ausgehen von einem gegossenen Material ein klares Bild von dem wirklichen Einfluß des Schmiedens geben kann. Oberhoffer hat diese Mängel in der genannten Arbeit näher beleuchtet und eine Literaturangabe der hauptsächlich in Frage kommenden Arbeiten gegeben.

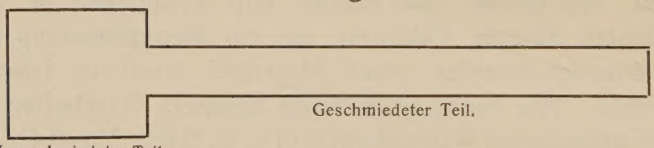
Die vorliegende Arbeit bestätigt, erweitert und ergänzt die Oberhofferschen Versuche. Sie ist mit ähnlichem Material durchgeführt.

---

[1]) Oberhoffer, Über den Einfluß des Schmiedens auf die Eigenschaften eines weichen Flußeisens. St. & E. 1913 Nr. 37 und 38.

Versuchsordnung.

Das zur Verfügung stehende Material war weiches Flußeisen mit 0,1 % C, 0,4 % Mn, 0,02 % Si, 0,012 % P und 0,024 % S. Die zum Ausschmieden verwendeten Blöckchen besaßen 120 mm Länge und 50 × 50 mm Querschnitt. Die einzelnen Proben wurden der Längsrichtung des Blockes entnommen und zwar aus verschiedenen Teilen des Querschnitts, um die durch verschiedene Abkühlung und Seigerungserscheinungen bedingten Unterschiede nach Möglichkeit auszugleichen. Das Anwärmen und Glühen der Proben erfolgte in Gasgebläseöfen, deren Temperatur sich durch Veränderungen der Gas- und Luftzufuhr genau einstellen ließ. Zu den Temperaturmessungen im Ofen diente ein Le Chateliersches Thermoelement. Die Dauer des Anwärmens betrug bei sämtlichen Proben 1 Stunde. Die Proben wurden nun mit Hilfe eines elektrisch angetriebenen Blattfederhammers mit 75 % Verminderung ihres ursprünglichen Querschnitts auf untenstehende Form heruntergeschmiedet.



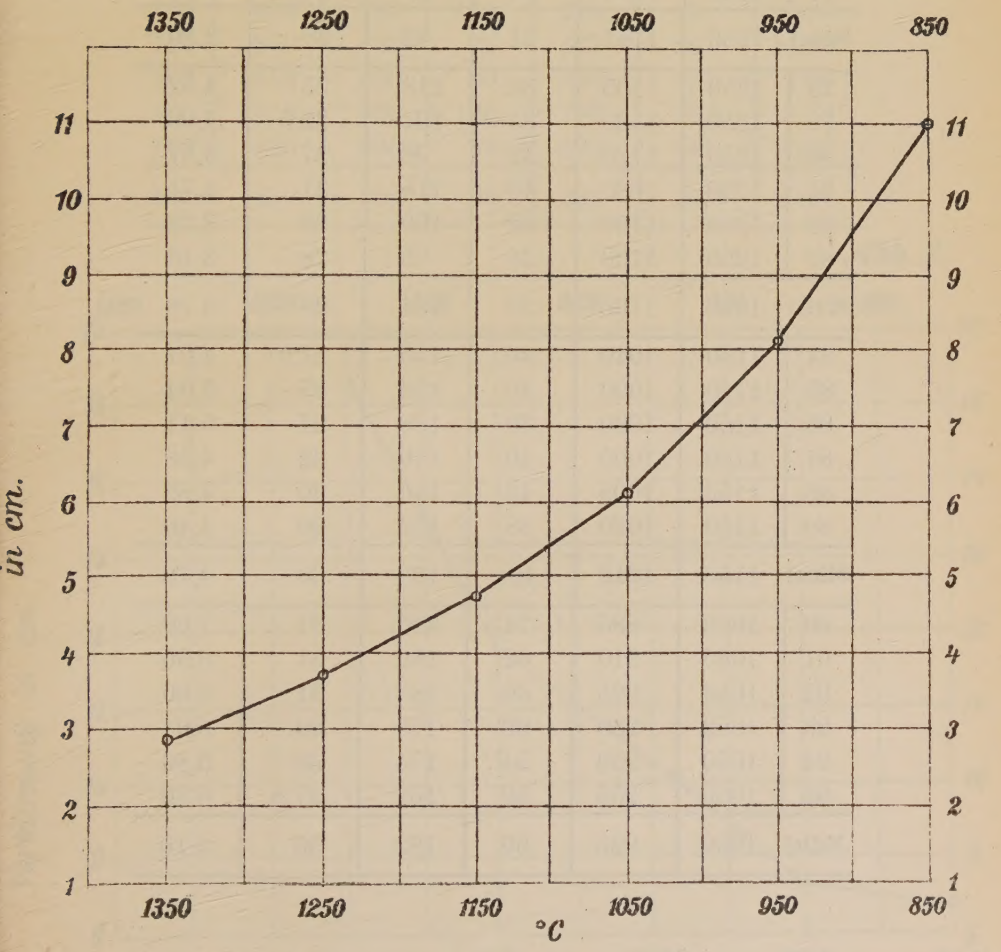
Ungeschmiedeter Teil.

Proben zu Zerreißstäben, Schlagproben, Kugeldruckproben, Druckproben und Schliffen für die mikroskopische Untersuchung wurden immer denselben Stellen des geschmiedeten und des ungeschmiedeten Teiles entnommen. Die Anzahl der Hammerschläge, die Dauer des Schmiedens und die Endtemperatur stellte man bei jedem Versuch fest. Auch glaubte man ein gewisses Maß für die Formänderungsarbeit dadurch zu erhalten, daß die ausgeschmiedete Länge in die Anzahl der Schläge dividiert wurde, wie dies in Zahlentafel 1 für eine Reihe von Bespielen geschehen ist. Abbildung 1 enthält die auf diese Weise gewonnenen Angaben in graphischer Darstellung. Das aus den Beckmann-schen[1]) Versuchen sich ergebende Gesetz (Abbildung 2)

[1]) Beckmann, Vergleichende Untersuchungen über die Arbeitsleistung von Hammer und Presse. Diss. Aachen.

stimmt mit dem aus dem vorliegenden Versuche erhaltenen gut überein. Beckmann benutzte zu seinen Versuchen zylindrische Körper aus gleichem Material und vollständig gleichen Abmessungen. Auf diese Zylinder ließ er, nachdem sie auf die gewünschten Temperaturen erhitzt waren, einen Hammerbär aus bestimmter Höhe herunterfallen. Die Verkürzung des Zylinders galt als Maß für den Widerstand des Materials gegen Formveränderung. (Zahlentafel 2.)

Abb. 1.



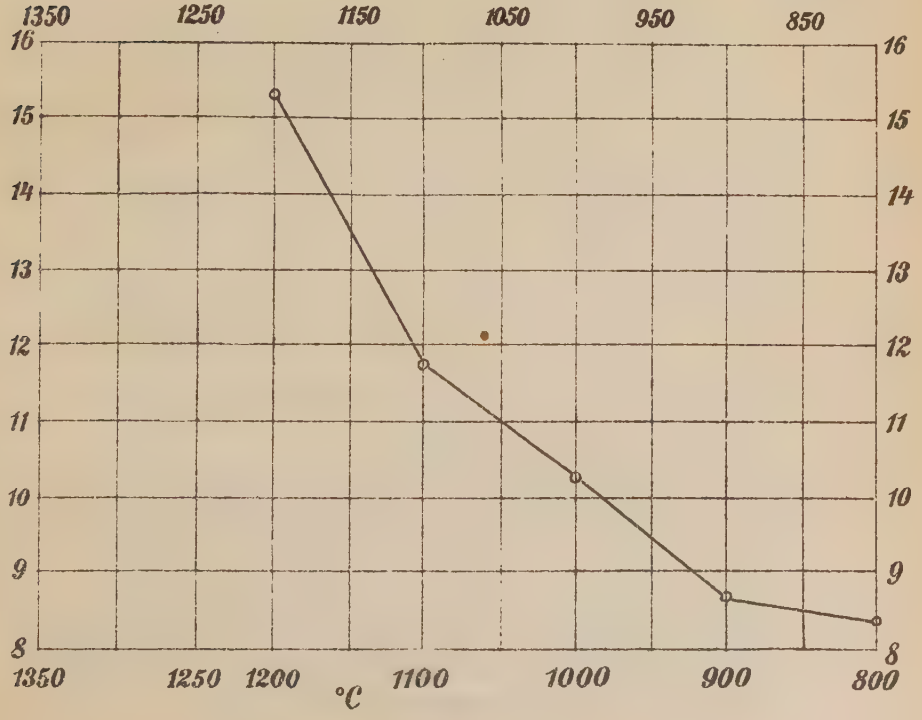
Anzahl der Schläge. Angeschm. Länge.

Zahlentafel 1.

Nr.	Anfangstemp. °C	Endtemp. °C	Schm.-Dauer in Sek.	Anzahl der Schläge	Ausgesch. Länge in cm	Anzahl der Schläge / ausgeschm. Länge
72	1350	1120	32	92	28	3,29
73	1350	1080	37	115	27	4,26
74	1350	1140	31	90	25,5	3,53
75	1350	1220	20	56	23,5	2,00
76	1350	1200	30	60	23,5	2,13
77	1350	1150	28	80	27,5	2,18
Mittel	1350	1151	31	82	26	2,89
78	1250	1105	38	113	25	4,52
79	1250	1100	35	104	26,5	4,00
80	1250	1120	32	96	27	3,57
81	1250	1080	40	115	31	3,71
82	1250	1100	32	100	30	3,33
83	1250	1130	30	95	28	3,40
Mittel	1250	1106	35	104	28	3,76
84	1150	1040	40	135	27,5	4,91
85	1150	1000	40	136	27	5,04
86	1150	1000	39	138	27	5,11
87	1150	1005	40	140	32	4,38
88	1150	1005	43	145	30	4,83
89	1150	1020	38	132	30	4,40
Mittel	1150	1012	40	138	30	4,78
90	1050	885	74	215	31	7,00
91	1050	910	62	186	31	6,00
92	1050	925	60	183	31	5,90
93	1050	930	60	175	29	6,04
94	1050	950	54	174	30	5,80
95	1050	955	52	162	27,5	5,89
Mittel	1050	926	60	182	30	6,10

Nr.	Anfangs-temp. °C	Endtemp. °C	Schm.-Dauer in Sek.	Anzahl der Schläge	Ausgesch. Länge in cm	Anzahl der Schläge / ausgeschm. Länge
96	950	885	62	190	26,5	7,17
97	950	850	82	245	29	8,45
98	950	810	76	216	27	8,00
99	950	815	90	260	31	8,40
100	950	810	81	245	28,5	8,60
101	950	820	81	245	31	7,90
Mittel	950	830	80	234	29	8,09
102	850	800	100	295	28	10,54
103	850	785	104	276	27	10,20
104	850	780	93	307	26	11,80
105	850	800	90	260	23,5	11,06
106	850	800	100	290	25,5	11,32
107	850	800	99	295	28	10,54
Mittel	850	794	98	288	26,3	10,91

Abb. 2.



Kurve von Beckmann.

Zahlentafel 2.

Bärgew. in kg	Fallhöhe in m	Arbeit in mkg	Verkürzung in mm n. d. Versuch				
			1200	1100	1000	900	800
100 kg	2 m	200 mkg	15,3	11,8	10,3	8,7	8,4

Zahlentafel 3.

Anfangstemperatur	1350	1250	1150	1050	950	850
Anzahl der Schläge ausgeschm. Länge	2,89	3,76	4,78	6,10	8,09	10,91

Bei den vorliegenden Versuchen wurde nach beendetem Schmieden die jeweilige Schmiedeendtemperatur mit Hilfe eines optischen Pyrometers nach Holborn und Kurlbaum bestimmt. Es wurden 5 Versuchsreihen hergestellt:

1. Die Proben wurden von verschiedenen Schmiedeanfangstemperaturen möglichst schnell heruntergeschmiedet und in Kieselgur langsam abgekühlt.
2. Die Proben wurden nicht geschmiedet, sondern auf die Schmiedeanfangstemperatur erhitzt, bis zur Schmiedeendtemperatur an der Luft und von da ab in Kieselgur abgekühlt.
3. Die Proben wurden wie unter 1 behandelt, jedoch nach beendetem Schmieden an der Luft abgekühlt.
4. Die Proben wurden von verschiedenen Anfangstemperaturen auf gleiche Schmiedeendtemperatur geschmiedet.
5. Die wie unter 1 behandelten Proben wurden bei 900° C ausgeglüht.

Aus diesen Reihen, sowie aus der Gegenüberstellung der einzelnen Reihen ergibt sich folgendes:

1. Einfluß der Schmiedetemperatur auf die Eigenschaften: Reihe I und eventuell Reihe III.
2. Einfluß der den Schmiedeproben erteilten Wärmebehandlung auf die Eigenschaften des ungeschmiedeten Materials: Reihe II.

3. Unterschied zwischen den Eigenschaften von geschmiedetem und ungeschmiedetem Material gleicher Wärmebehandlung: Vergleich von Reihe I und II.
4. Einfluß der Abkühlungsgeschwindigkeit bei geschmiedetem und ungeschmiedetem Material: Vergleich von Reihe I und III, geschmiedeter und ungeschmiedeter Teil der Proben.
5. Einfluß der Schmiedeanfangstemperatur: Reihe IV unter Hinzunahme derjenigen Proben der Reihe III, die gleiche Endtemperatur besaßen.
6. Einfluß der Schmiedeendtemperatur: Vergleich von Reihe III und IV.
7. Einfluß des nachträglichen Glühens bei 900° auf die Eigenschaften der bei verschiedenen Temperaturen geschmiedeten Proben: Vergleich von Reihe V mit I bez. III.

Versuchsreihe I.

Die Proben der Reihe I kühlten nach dem Ausschmieden in Kieselgur verhältnismäßig langsam ab. Zum Vergleich der bei Reihe I und III eingehaltenen Abkühlungsgeschwindigkeiten wurden Abkühlungskurven des geschmiedeten und ungeschmiedeten Teiles der Probe aufgenommen. Die Abkühlung der Proben ging in Kieselgur ungefähr zehnmal so langsam vor sich als an der Luft.

Die zu Zerreißversuchen verwandten Proben waren Normalstäbe von 21 cm Länge, 100 mm Meßlänge und 10 mm Durchmesser. Die Versuche wurden an einer mit manometrischer Kraftmessung versehenen 50 t-Zerreißmaschine durchgeführt und die Fließgrenze, die Bruchgrenze, die Bruchdehnung und die Querschnittsverminderung ermittelt. Um einen guten Durchschnitt zu erhalten, sind für jeden Versuch 3 Proben hergestellt worden. Geschmiedet wurde bei allen Versuchen von 1350 bis 850° C in Intervallen von je 100° C. Das

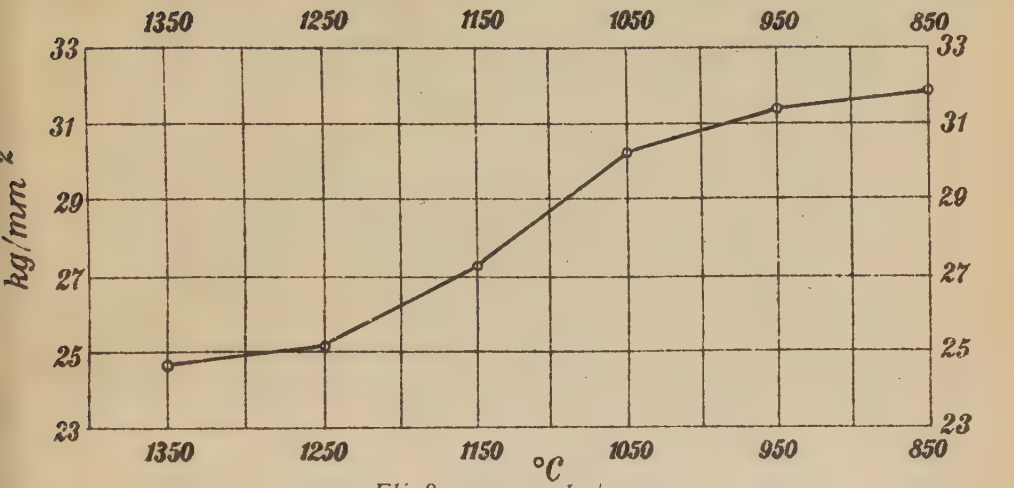
Ausschmieden erfolgte bei der ersten Reihe sehr schnell zur Erzielung einer möglichst hohen Endtemperatur. Die Ergebnisse der Zerreißversuche sind in Zahlentafel 4 zusammengestellt; die Abb. 3—6 enthalten die Versuchsresultate in graphischer Darstellung.

Zahlentafel 4.

Nr.	Temp.	Endtemp.	Fließgr. kg/mm²	Festigkeit kg/mm²	Dehnung in %	Kontrakt in %	Fließgrenze in % der Festigkeit
1	1350	1210	23,74	41,19	34,40	66,10	57,63
2	1350	1180	24,86	41,22	28,80	66,89	60,31
3	1350	1130	24,72	41,61	30,90	65,20	59,41
Mittel	1350	1180	24,44	41,34	31,37	66,06	59,12
7	1250	1090	25,40	41,91	31,10	66,33	60,61
8	1250	1100	25,76	41,22	29,15	66,89	62,25
9	1250	1060	25,14	40,60	31.25	64,45	61,92
Mittel	1250	1090	25,43	41,24	30,50	65,89	61,63
13	1150	1020	27,73	43,27	27,75	65,25	64,09
14	1150	980	26,50	42,70	27,75	65,73	62,06
15	1150	1000	28,71	43,64	29,60	64,68	65,79
Mittel	1150	995	27,65	43,20	28,37	65,22	63,98
19	1050	900	29,19	43,00	29,60	66,51	67,84
20	1050	920	30,70	45,03	28,40	66,26	68,18
21	1050	880	31,34	45,27	30,20	65,79	69,23
Mittel	1050	910	30,41	44,43	29,40	66,19	68,43
25	950	860	31,30	43,43	27,10	67,21	72,07
26	950	830	31,40	44,31	27,40	66,54	70,86
27	950	800	31,65	45,41	23,20	65,33	69,89
Mittel	950	815	31,45	44,38	25,90	66,36	70,95
31	850	770	32,14	43,16	21,90	68,72	74,47
32	850	790	31,88	45,55	21,30	66,20	70,00
33	850	790	31,86	46,34	25,15	64,37	68,75
Mittel	850	780	31,96	45,02	22,78	66,43	71,07

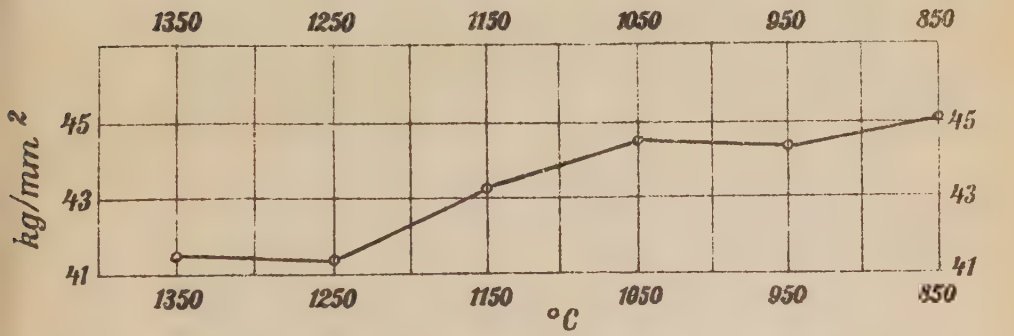
Reihe I. Geschm. u. langs. abgekühlter Teil.

Abb. 3.



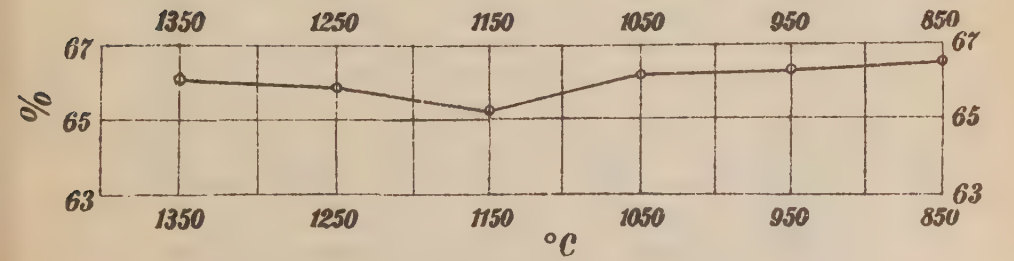
Fließgrenze. kg|qmm

Abb. 4



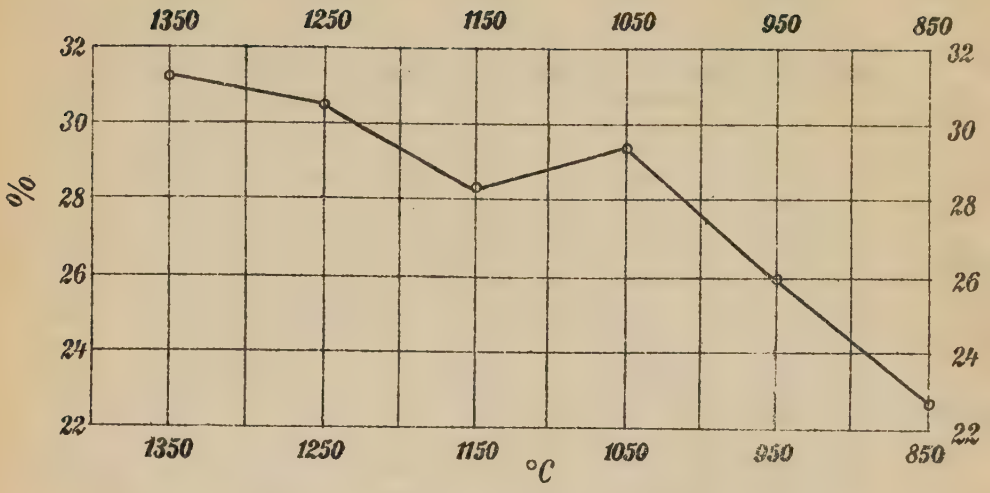
Festigkeit. kg|qmm

Abb. 5



Kontraktion %

Abb. 6.



Dehnung %.

Man erkennt, daß mit abnehmender Schmiedetemperatur die Fließgrenze und Bruchfestigkeit eine steigende Tendenz besitzen. Drückt man die Fließgrenze in Prozenten der Bruchfestigkeit aus, wie dies in neuerer Zeit häufig geschieht, so ist hier ebenfalls ein Steigen der Werte zu beobachten. Der Höchstwert beträgt 71,07% bei einer Anfangstemperatur von 850° C. Die Dehnung fällt mit abnehmender Schmiedetemperatur, während die Kontraktion praktisch gleich bleibt.

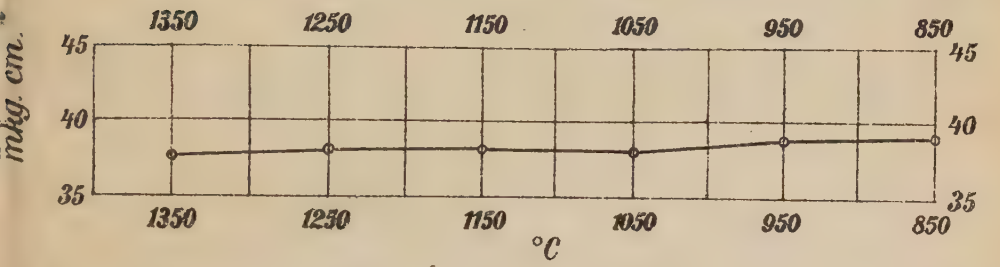
Zur Bestimmung der spezifischen Schlagarbeit wurden aus den ausgeschmiedeten Teilen der Proben Stäbe von 160 mm Länge und 10 × 10 mm² Querschnitt gefräst. Der Stab wurde mit einer Kerbe von 2 mm Tiefe versehen. Keine dieser Proben konnte mit dem Pendelhammer zerschlagen werden. Ein zweiter Versuch, Stäbe von 20 × 30 mm Querschnitt und einer Einkerbung von 15 mm Tiefe zu zerschlagen, schlug ebenfalls fehl. Dagegen ließen sich Proben mit 10 × 30 mm Querschnitt und einer Kerbe von 15 mm Tiefe zerschlagen. Dementsprechend wurden die zu den Schlagversuchen bestimmten Proben auf 15 × 40 mm heruntergeschmiedet. Die Querschnittsverminderung war fast die gleiche wie vorher. Zahlentafel 5 enthält die

Ergebnisse der Schlagversuche und Abb. 7 dieselben in graphischer Darstellung. Der Einfluß der Schmiedetemperatur auf die spezielle Schlagarbeit ist unbeträchtlich. Immerhin ist ein allmähliches Steigen der Kurve mit abnehmender Schmiedetemperatur nicht zu verkennen.

Zahlentafel 5.

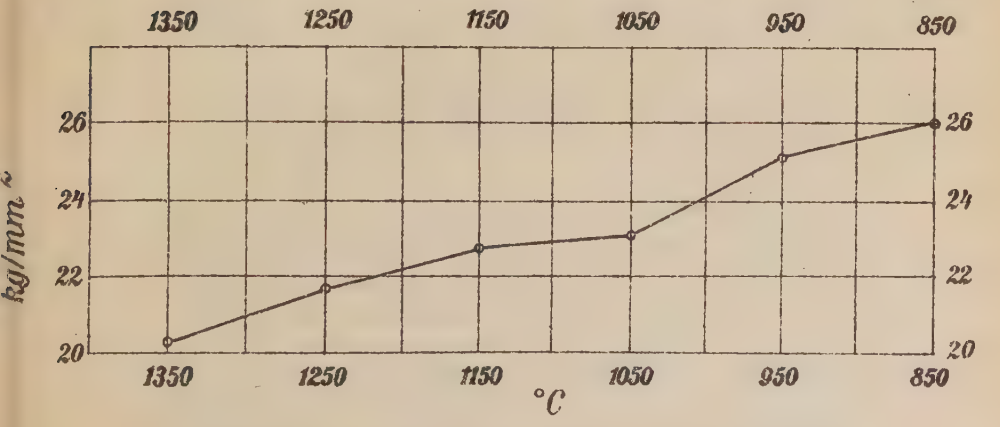
Anfangstemperatur	1350	1250	1150	1050	950	850
Mittl. Endtemperatur	1151	1106	1012	926	830	794
Spez. Schlagarbeit in mkg/cm²	38,09	38,00	39,28	38,08	38,52	38,78
"	37,87	38,48	37,64	38,13	39,35	39,28
Mittel mkg/cm²	37,98	38,44	38,46	38,11	38,93	39,03

Abb. 7.



Spez. Schlagarbeit mkg/qcm.

Abb. 8.



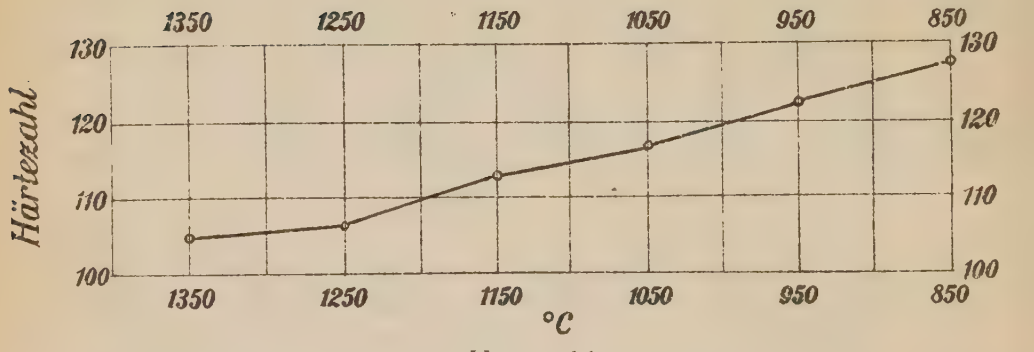
Ungeschmiedeter und langsam abgekühlter Teil. Fließgrenze an Druckproben ermittelt.

Die Härte des Materials wurde nach der Brinellschen Kugeldruckmethode bestimmt. Es wurden zu diesem Zwecke Körper von 15 mm Höhe aus dem Material herausgesägt und diese der Kugeldruckprobe unterworfen. Die betreffenden Werte finden sich in Zahlentafel 6, die graphische Darstellung in Abbildung 9. Mit abnehmender Schmiedetemperatur nimmt die Härte beständig zu.

Zahlentafel 6.

Anfangstemperatur	1350	1250	1150	1050	950	850
Mittl. Endtemperatur	1151	1106	1012	926	830	794
Härtezahl	105,0	106,6	113,0	117,0	122,8	127,6

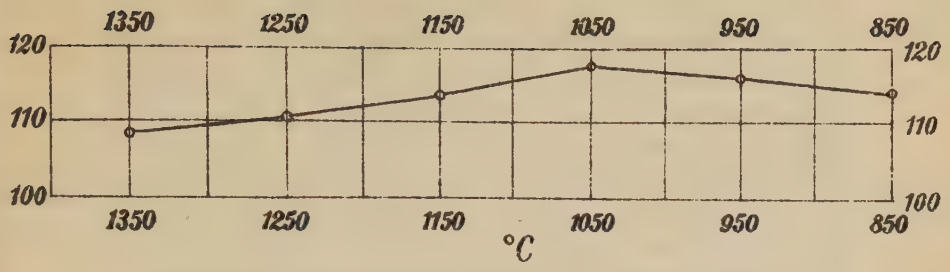
Abb. 9.



Härtezahl.
Geschmiedeter und langsam abgekühlter Teil.

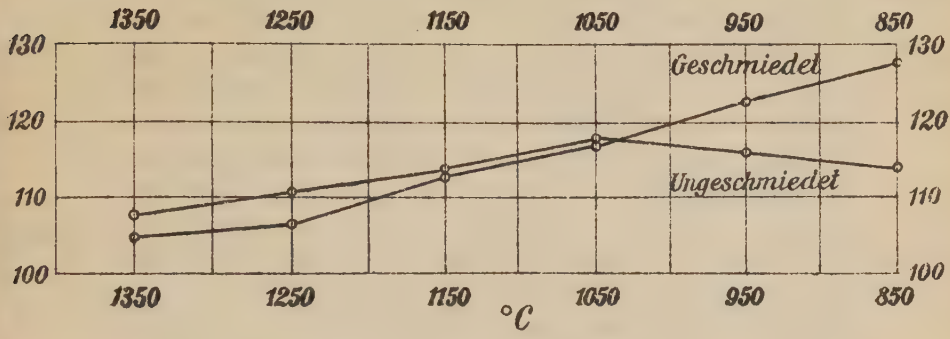
Untersuchungen in bezug auf die Löslichkeit des Materials in verdünnten Säuren haben zu keinen Ergebnissen geführt. Mit Ausnahme der bei 850 ° C geschmiedeten Proben, bei denen die Löslichkeit eine sehr große war, konnten keine Unterschiede bei den einzelnen Schmiedetemperaturen festgestellt werden. Die Versuche wurden daher abgebrochen, da wahrscheinlich der hohe Gehalt an Einschlüssen die Unterschiede in der Löslichkeit verdeckte.

Abb. 10.



Ungeschmiedeter und langsam abgekühlter Teil.

Abb. 11



Vergleich von Abb. 9 und 10.

Ganz besonderer Wert wurde auf die Untersuchung des Gefüges gelegt. Sämtliche Schliffe zeigten im Längsschliff Zeilenstruktur (Bild 7 bis 12) und im Querschliff körnige Struktur (Bild 1 bis 6). Unter Zeilenstruktur, hier Ferrit und Perlit, versteht man die Anordnung der Gefügebestandteile in parallelen Bändern und Zeilen. Eine Erklärung über die Entstehung der Zeilenstruktur hat Oberhoffer[1]) gegeben. Nach Oberhoffer ist die Zeilenstruktur auf die Keimwirkung der Schlackeneinschlüsse bzw. Phosphorseigerungen[2]) zurückzuführen. Howe und andere dagegen vertreten den Standpunkt, daß die Zeilenstruktur ausschließlich auf Phosphorseigerungen beruhe, und daß daher bei einem

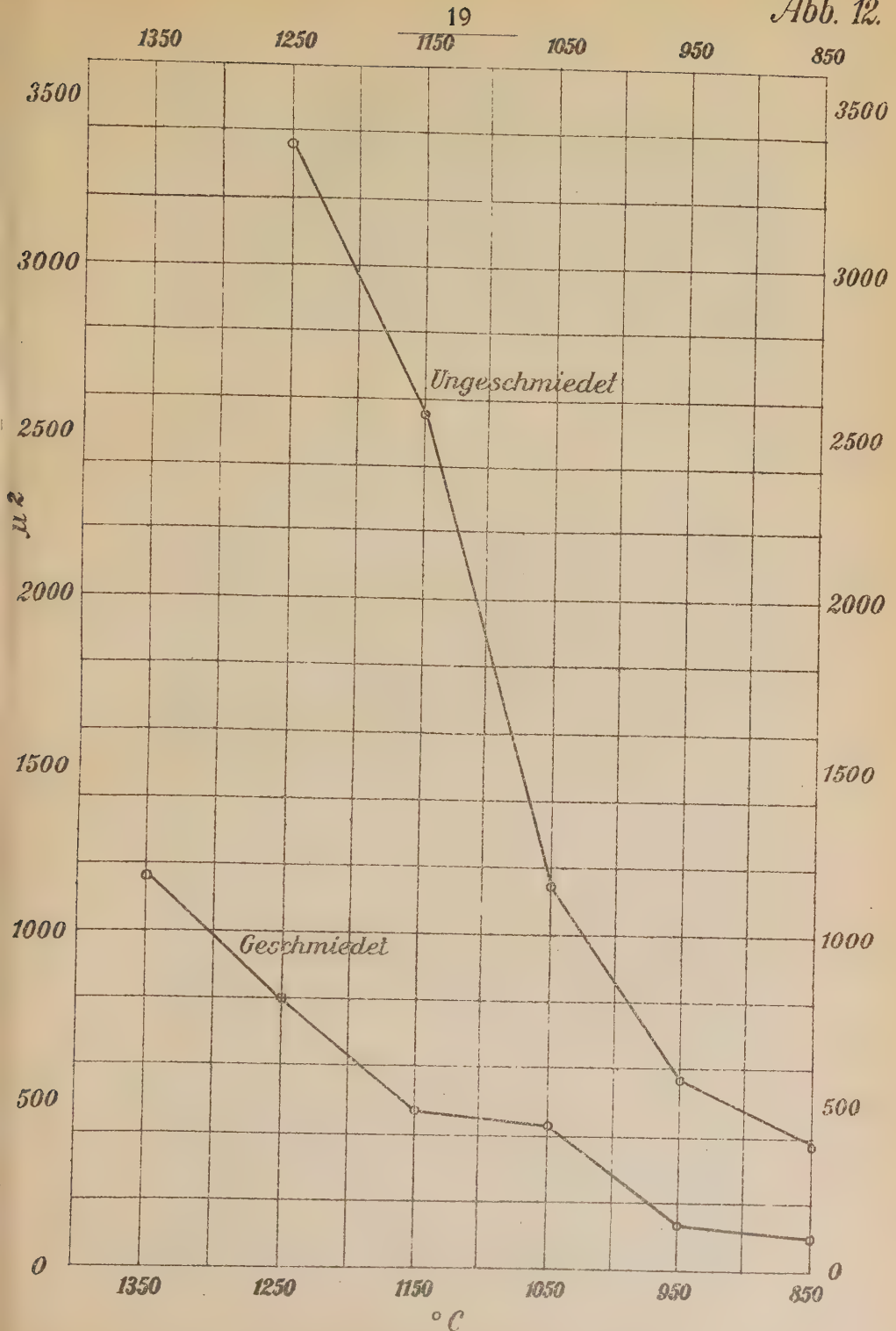
[1]) Oberhoffer, Einige Beobachtungen über die sogenannte Zeilenstruktur, St. & E. 1912. S. 889.

[2]) Vgl. Oberhoffer u. Meyer, Weitere Beobachtungen über die Zeilenstruktur, St. & E. 1914, bzw. Oberhoffer u. Hartmann, Die Ursachen der Zeilenstruktur, St. & E. 1914.

sehr geringen Phosphorgehalt diese Erscheinung nicht auftrete. Gegen diese Auffassung spricht außer den direkten Beobachtungen von Oberhoffer und Hartmann das Auftreten der Zeilenstruktur in dem vorliegenden nahezu phosphorfreien Versuchsmaterial. Durch Ätzung mit Kupferammoniumchlorid war vorher festgestellt worden, daß das Material keine Seigerungen enthielt.

Die Korngröße des Ferrits wurde nach dem Planimetrierverfahren ermittelt. Das Bild des Schliffes warf man mittels eines Projektionsapparates auf eine Mattscheibe. Aus dem Gesichtsfelde heraus wurde eine beliebige Anzahl von ganzen Ferrit- und Perlitkörnern mit einem Kohlenstift umfahren. Die Körner wurden gezählt und die Fläche ausplanimetriert. Nach Abzug des Betrages der Perlitmenge, welche dem Kohlenstoffgehalt gemäß $^1/_9$ der Fläche ausmacht, berechnete man die Korngröße des Ferrits, indem man die Anzahl der Körner in die Fläche, welche in cm^2 ausgedrückt war, dividierte. Den erhaltenen Wert dividierte man durch das Quadrat der Vergrößerung und erhielt so ausgedrückt in μ^2 die absolute Korngröße. Aus drei Proben gleicher Behandlung sowohl des bearbeiteten als auch des unbearbeiteten Teiles wurden Schliffe hergestellt und an jedem Schliff an drei Stellen Kornmessungen vorgenommen. Hierdurch ergab sich ein guter Durchschnitt. Zahlentafel 7 enthält die am geschmiedeten Material erhaltenen Mittelwerte und Abbildung 12 dieselben in graphischer Darstellung. Die Korngröße des Ferrits nimmt mit sinkender Schmiedetemperatur ab, jedoch nicht gleichmäßig. Bis 1050° C ist die Abnahme ziemlich beträchtlich, dann fällt die Kurve bis 850° C langsamer. Die Untersuchungen des ungeschmiedeten Teiles der Proben sind der Reihe II beigefügt, da die Behandlung dieselbe war, wie die der Proben dieser Reihe.

Abb. 12.



Geschmiedeter und ungeschmiedeter Teil. Korngr. μ².

Zahlentafel 7.

Anfangstemperatur	1350	1250	1150	1050	950	850
Mittl. Endtemperatur	1151	1106	1012	926	830	794
Korngröße in μ^2	1174	794	465	430	131	98
„	1197	842	470	433	130	94
„	1181	767	468	419	129	91
Mittel: μ^2	1184	801	468	427	130	94

Versuchsreihe II.

Reihe II befaßt sich mit den Änderungen der Eigenschaften, die durch Glühen des ungeschmiedeten Materials bei verschiedenen Temperaturen hervorgerufen werden. Die Proben, deren Abmessungen bereits mitgeteilt sind, wurden eine Stunde bei Temperaturen T von 1350° bis 850° C in Intervallen von je 100° C geglüht. Darauf wurden sie aus dem Ofen genommen und an der Luft bis zur mittleren Endtemperatur t der Proben der Reihe I abgekühlt. Die weitere Abkühlung erfolgte dann in Kieselgur. Der Vergleich von Reihe II mit Reihe I ergibt den Unterschied zwischen geschmiedetem und ungeschmiedetem Material bei gleicher Wärmebehandlung. Der Unterschied in den Ergebnissen der beiden Reihen ist also gleich dem absoluten Einfluß des Schmiedens auf die Eigenschaften. Den Versuchsergebnissen der Reihe II sind diejenigen des gleichbehandelten, ungeschmiedeten Teils der Reihe I beigefügt, außerdem noch die am ungeglühten Material erhaltenen Werte, vgl. Zahlentafel 8.

Durch das Glühen bezweckt man die Umwandlung der Gußstruktur in die feinkörnige und damit im allgemeinen eine Verbesserung der Festigkeitseigenschaften. Zur Umwandlung des Gefüges ist eine Erhitzung auf A_3 (hier 900°) erforderlich.

Die Höchstwerte der Fließgrenze und der Bruchfestigkeit liegen bei 850°. Über diese Temperatur hinaus sinken die diesen Eigenschaften entsprechenden

Zahlentafel 8.

Nr.	T.°	t.°	Fließgr. kg/mm²	Festigkeit kg/mm²	Dehng.[1]) in %	Kontrakt.[1]) in %	Fließgr. in % der Festigk.
37	1350	1180	22,85	41,98	26,10	45,32	54,43
38	1350	1180	21,95	40,83	27,00	51,77	53,76
39	1350	1180	23,09	—	19,70	32,21	—
Mittel	1350	1180	22,63	41,40	24,27	45,43	54,09
42	1250	1090	20,29	39,18	17,80	41,77	51,78
43	1250	1090	21,41	41,16	19,00	39,32	52,02
44	1250	1090	20,90	40,15	—	42,96	52,05
Mittel	1250	1090	20,87	40,16	18,40	41,35	51,95
47	1150	995	21,70	40,05	25,20	25,20	54,18
48	1150	995	22,23	40,86	16,70	—	54,45
49	1150	995	21,84	41,13	—	26,20	53,10
Mittel	1150	995	21,92	40,68	20,90	25,70	53,91
52	1050	910	23,08	40,64	16,70	33,42	56,79
53	1050	910	22,76	40,70	21,50	37,00	55,92
54	1050	910	22,49	40,00	23,40	43,97	56,22
Mittel	1050	910	22,78	40,45	20,50	38,13	56,31
57	950	815	25,55	41,72	17,60	35,43	61,24
58	950	815	25,60	41,08	19,00	51,36	62,32
59	950	815	24,36	—	19,20	32,35	—
Mittel	950	815	25,17	41,40	18,60	39,71	61,78
62	850	780	26,19	41,62	23,00	50,61	62,86
63	850	780	27,27	42,86	23,00	39,43	63,63
64	850	780	26,90	41,67	—	—	64,55
Mittel	850	780	26,78	42,05	23,00	45,02	63,68

[1]) Die Werte für Dehnung und Kontraktion sind zwar in dieser Zahlentafel angegeben, doch sind die wirklichen Werte wahrscheinlich erheblich größer. Die schlechte Übereinstimmung der Einzelwerte, sowie die ihm im allgemeinen zu niedrige Lage ist darauf zurückzuführen, daß geringe Materialfehler gerade diese Eigenschaften in den ungeschmiedeten Materialien besonders stark beeinflussen.

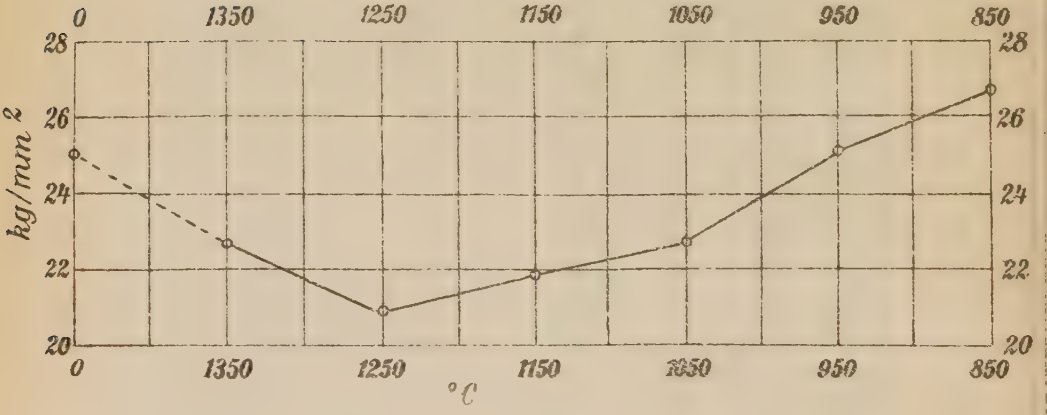
Zu Zahlentafel 8.

Nr.	Temp.	Endtemp.	Fließgr. kg/mm²	Festigkeit kg/mm²	Dehnung in %	Kontraktion in %	Fließgr. in % der Festigk.
67	Ungeglüht	—	24,60	39,13	(14,80)	—	62,86
68	,,	—	25,03	—	—	—	—
69	,,	—	25,44	39,15	(13,20)	—	65,00
Mittel	—	—	25,02	39,14	(14,00)	—	63,63

Werte. Die Schlagfestigkeit zeigt zwei Maxima bei 850 und 1250°.

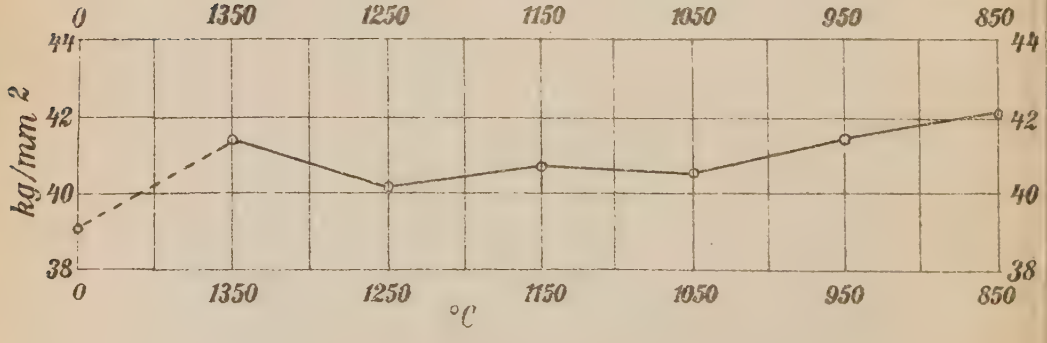
Reihe II. Ungeschmiedetes Material.

Abb. 13.



Fließgrenze.

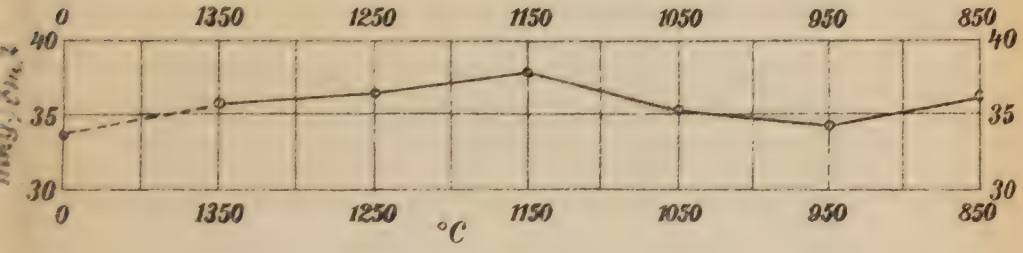
Abb. 14.



Festigkeit.

Die aus dieser Versuchsreihe durch den Zugversuch sich ergebenden Werte für die Fließgrenze stimmen mit den aus den Druckversuchen an dem ungeschmiedeten Teil der Proben von Reihe I erhaltenen (vgl. Zahlentafel 10 Abb. 8) ziemlich gut überein. Die Härte (Zahlentafel 11 Abb. 10), an den ungeschmiedeten Teil der Proben von Reihe I ermittelt, zeigt geringe Änderungen mit der Glühtemperatur.

Abb. 15.



Spez. Schlagarbeit.

Zahlentafel 9.

Spez. Schlagarb.	Ungeglüht	1350	1250	1150	1050	950	850
mkg/cm²	33,68	35,53	37,04	37,16	35,00	33,02	36,65
„	34,23	35,88	36,00	38,28	35,62	35,88	35,67
Mittel	33,85	35,70	36,52	37,73	35,31	34,45	36,15

Zahlentafel 10.

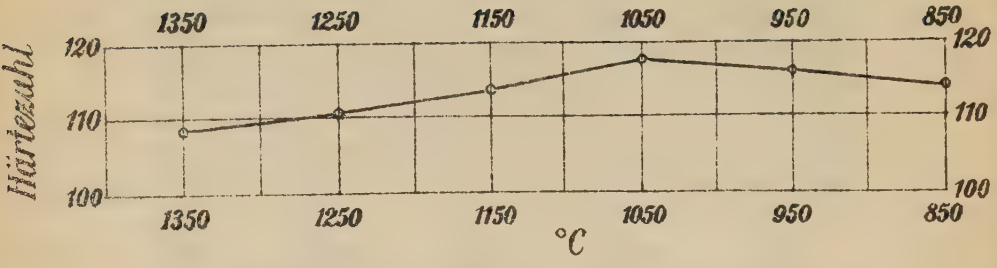
Fließgr. aus Druckpr.	Ungeglüht	1350	1250	1150	1050	950	850
Fließgr. in kg/mm²	25,30	19,20	21,30	22,70	23,30	25,08	26,80
	24,86	20,86	22,07	22,85	22,80	25,14	25,31
Mittel	25,08	20,27	21,69	22,78	23,09	25,11	26,05

Zahlentafel 11.

Härte	Ungeglüht	1350	1250	1150	1050	950	850
Härtez.	112,8	108,2	110,8	113,2	117,6	116,0	114,0

In Zahlentafel 13 und Abb. 17 bis 19 sind die Mittelwerte aus den Versuchen der Reihen I und II zusammengestellt.

Abb. 16.

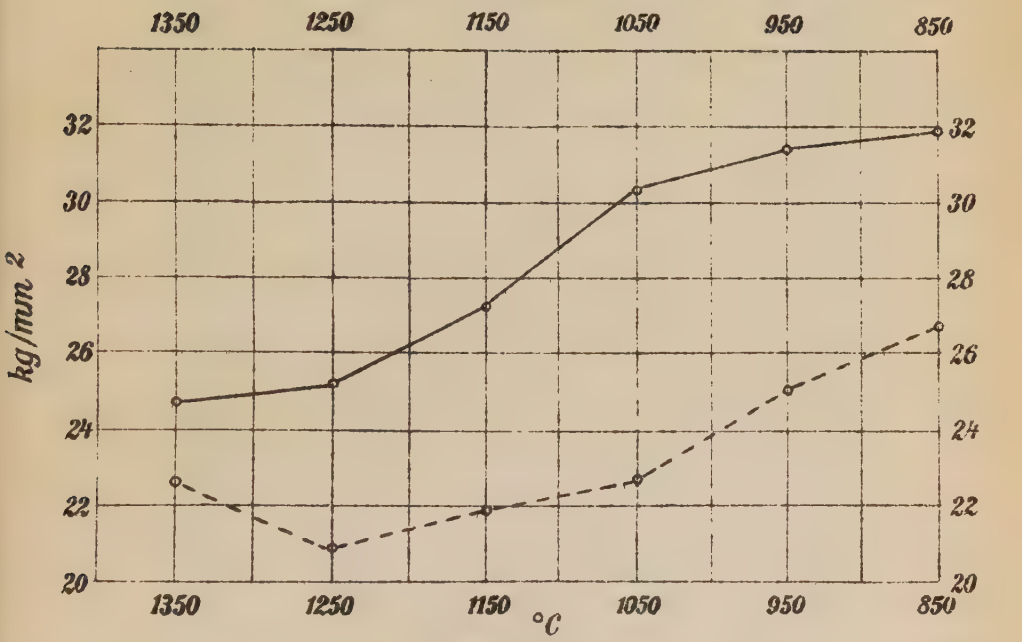


Fließgrenze, Festigkeit und spezifische Schlagarbeit werden durch das Schmieden erhöht und zwar am stärksten erstere, am schwächsten letztere. Der Unterschied der Ordinaten der oberen und unteren Kurven in den Abbildungen 17—19 zeigt den reinen Einfluß des Schmiedens. Das Maß der Erhöhung ist für Fließgrenze und Festigkeit am größten in dem mittleren Temperaturintervall. Mit steigender oder sinkender Temperatur nimmt es ab. Die Schlagfestigkeit verhält sich umgekehrt, doch ist zu berücksichtigen, daß die Veränderung der Schlagfestigkeit durch das Schmieden an sich schon recht gering ist. Hauptsächlich aber wohl infolge der geringen Dehnungs- und Kontraktionswerte des ungeschmiedeten Materials, deren vermutliche Ursache bereits angegeben wurde, erweist sich die Erhöhung dieser hier zum Vergleich mit aufgenommenen Werte durch das Schmieden (siehe Zahlentafel 13) als sehr groß. Es ist daher interessant, festzustellen, daß die gleichen Fehler beim gegossenen Material von ungleich größerem Einfluß sind als beim geschmiedeten, eine für die Stahlformgußtechnik wichtige Beobachtung. Die Härte wird, wie Abbildung 11 zeigt, wesentlich erst beeinflußt, wenn bei einer zwischen 1050 und 850° gelegene Temperatur geschmiedet wird, und zwar ist dann die durch das Schmieden hervorgerufene Härtesteigung um so bedeutender, je niedriger die Schmiedetemperatur ist. Am deutlichsten äußert sich aber der Einfluß des Schmiedens auf die Korngröße, wie Abb. 12 zeigt. Die Verminderung der Korngröße durch das Schmieden sinkt sehr rasch mit sinkender Schmiedetemperatur.

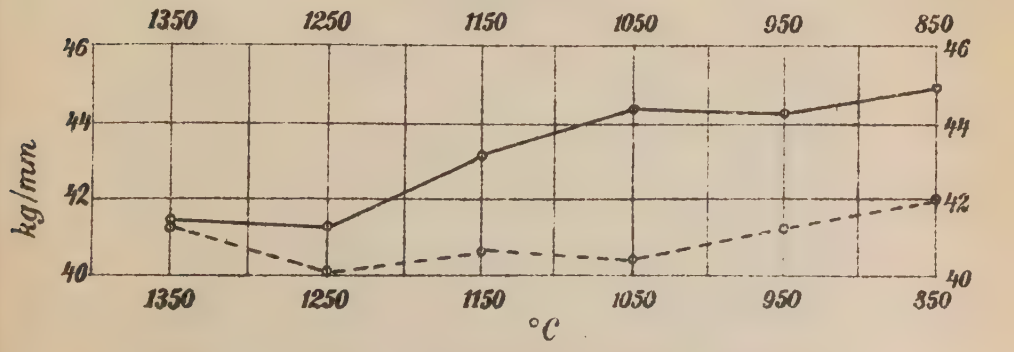
Zahlentafel 12.

Korngr.	Ungeglüht	1350	1250	1150	1050	950	850
in μ^7	—	—	3521	2617	1111	573	377
„	—	—	3338	2783	1110	546	391
„	—	—	3224	2283	1211	579	360
μ^2	—	—	3361	2561	1144	566	376

Vergleich d. Reihe I — geschm. u. langs. abgek. Teil mit d. Reihe II — ungeschm. Material. *Abb. 17.*

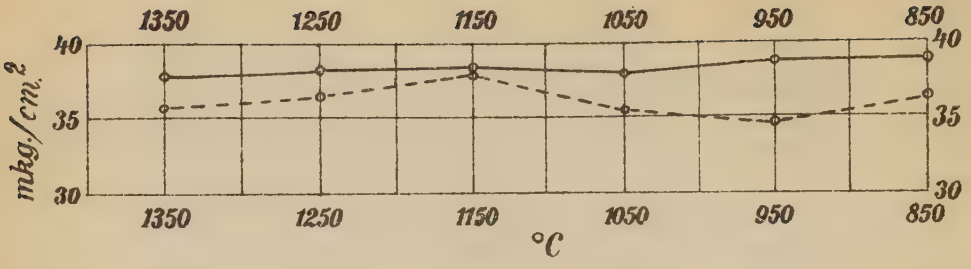


Fließgrenze. *Abb. 18.*



Festigkeit.

Abb. 19



Spez. Schlagarbeit.

Zahlentafel 13.

Reihe		1350	1250	1150	1050	950	850
I	Fließgr.	24,44	25,43	27,65	30,41	31,45	31,96
II		22,63	20,87	21,92	22,78	25,17	26,78
I	Festigkeit	41,34	41,24	43,20	44,43	44,38	45,02
II		41,40	40,16	40,68	40,45	41,40	42,05
I	Dehnung	31,37	30,50	28,37	29,40	25,90	22,78
II		24,27	18,40	20,90	20,50	18,60	23,00
I	Kontrakt	66,06	65,89	65,22	66,19	66,36	66,43
II		45,43	41,35	25,70	38,13	39,71	45,02
I	Fließgr. in %	59,12	61,63	63,98	68,43	70,95	71,07
II	der Festigkeit	54,09	51,95	53,91	56,31	61,78	63,68
I	Spez. Schlagarb.	37,98	38,44	38,46	38,11	38,93	39,03
II		35,70	36,52	37,73	35,31	34,45	36,15
I	Härtezahl	105,0	106,6	113,0	117,0	122,8	127,6
II		108,2	110,8	113,2	117,6	116,0	114,0
I	Korngr. in μ^2	1184	801	468	427	130	94
II		—	3361	2561	1144	566	376

Versuchsreihe III.

Die Proben der Reihe III kühlten nach dem Ausschmieden, welches wie bei Reihe I in kürzester Zeit vorgenommen wurde, an der Luft ab. Es wurde auch bei dieser Reihe der geschmiedete und der ungeschmiedete Teil der Proben untersucht. Außer den in Reihe I und II behandelten Materialeigenschaften enthält die Reihe III noch Ergebnisse magnetischer Messungen. Aus Reihe I und III ergibt sich durch Vergleich der Einfluß der Abkühlungsgeschwindigkeit auf geschmiedetes und einige Eigenschaften von ungeschmiedetem Material.

Die Bestimmung der magnetischen Eigenschaften erfolgte mit Hilfe des Magnetisierungsapparates von Siemens & Halske (Schaltung nach Köpsel-Kath). Zu den Messungen wurden genau abgedrehte Rundstäbe von etwa 6 mm Dm. und 27 cm Länge verwandt. Hysteresis, Remanenz, Koerzitivkraft und Permeabilität sind ermittelt worden. Die in Zahlentafel 15 enthaltenen

Zahlentafel 14.

Nr.	Temp.	End-temp.	Fließgr. kg/mm²	Festigkeit kg/mm²	Dehnung in %	Kontraktion in %	Fließgr. in % der Festigk.
72	1350	1120	24,91	43,33	29,20	65,67	56,79
73	1350	1080	27,47	44,40	—	64,60	62,63
74	1350	1140	24,56	43,85	29,00	65,26	56,01
Mittel	1350	1113	25,65	43,86	29,10	65,18	58,48
77	1250	1105	26,80	43,02	26,20	65,59	62,30
78	1250	1100	26,07	42,36	32,30	66,51	61,54
79	1250	1120	27,39	43,24	30,00	66,64	63,24
Mittel	1250	1108	26,75	42,87	29,50	66,25	62,36
82	1150	1040	28,51	42,83	26,20	66,85	66,54
83	1150	1000	28,35	44,33	27,40	65,76	63,95
84	1150	1000	27,02	42,57	30,10	67,52	63,47
Mittel	1150	1013	27,96	43,24	27,90	66,71	64,65
87	1050	885	29,40	44,36	28,80	67,03	66,28
88	1050	910	28,09	43,55	29,60	66,61	64,50
89	1050	925	28,80	43,72	28,80	65,37	65,87
Mittel	1050	907	28,76	43,88	29,07	66,34	65,55
92	950	885	29,34	42,87	28,40	66,17	68,39
93	950	850	31,90	45,14	27,20	65,12	70,67
94	950	810	30,72	43,30	26,30	61,52	70,95
Mittel	950	848	30,65	43,77	27,30	64,27	70,00
97	850	800	31,92	44,70	—	—	71,41
98	850	785	32,69	45,51	26,30	65,48	71,83
99	850	780	30,74	44,81	—	65,86	68,60
Mittel	850	788	31,78	45,01	26,30	65,67	70,61

Versuchsergebnisse beziehen sich auf eine Feldstärke von 150 Cgs. Abb. 29 bis 33 sind die Ergebnisse in graphischer Darstellung.

Der durch die Abb. 32 und 33 veranschaulichte Verlauf der Koerzitivkraft und der Hysteresis scheint der charakteristische für alle magnetischen Eigenschaften zu sein, wenn er auch in den Abb. 29, 30 und 31 nicht mit der gleichen Deutlichkeit in der maximalen Induktion, der Remanenz und der Permeabilität zum Ausdruck gelangt. Die Veränderung der magnetischen Eigenschaften mit der Schmiedetemperatur ist hiernach eine sehr beträchtliche. Eine nähere Beschreibung der Kurven erübrigt sich. Es genügt, darauf hinzuweisen, daß der Verlauf der Kurven keine Analogie mit irgendeiner der mechanischen Eigenschaften besitzt.

Zahlentafel 15.

Schmiedetemp.	1350	1250	1150	1050	950	850
Hysteresis in Erg/cm³	33340	31920	30900	32150	35660	38900
Koerzitivkraft	3,4	3,2	3,1	3,2	3,5	4,0
Ramenenz	8655	7660	8275	7885	9735	10635
H max.	18300	18260	18275	18275	18285	18610
Permeabilität	123,9	123,2	123,4	123,6	123,8	125,8

Zahlentafel 16.

Anfangstemp.	Ungeglüht	1350	1250	1150	1050	950	850
Mittl. Endtemp.	—	1182	1082	999	876	824	770
Spez. Schlagarb. mkg/cm²	33,68	38,53	38,70	41,20	44,70	42,11	39,74
„	34,23	38,84	39,03	37,89	41,28	42,80	40,47
Mittel	33,95	38,68	38,86	39,54	42,99	42,45	40,10

Zahlentafel 17.

Anfangstemp.	Ungeglüht	1350	1250	1150	1050	950	850
Härtezahl	112,8	126,0	124,0	118,0	128,0	132,2	136,4

Zahlentafel 18.

Anfangstemp.	Ungeglüht	1350	1250	1150	1050	950	850
Korngr. in μ^2	—	498	418	325	356	167	67
„	—	507	435	322	346	168	73
„	—	486	420	329	351	151	70
μ^2	—	497	423	325	351	162	70

Zahlentafel 19.

Anfangstemp.	Ungeglüht	1350	1250	1150	1050	950	850
Korngr. in μ^2	—	517	459	308	296	132	92
„	—	536	429	301	299	124	86
„	—	543	443	296	293	128	84
μ^2	—	532	444	302	296	128	87

Zahlentafel 20.

Anfangstemp.	Ungeglüht	1350	1250	1150	1050	950	850
Mittl. Endtemp.	—	1182	1082	999	876	824	770
Fließgr. kg/mm²	25,30	23,54	24,08	24,38	26,20	29,66	30,78
„ kg/mm²	24,86	23,30	23,94	25,73	28,53	28,50	30,64
Mittel	25,08	23,42	24,01	25,05	27,36	29,08	30,71

Zahlentafel 21.

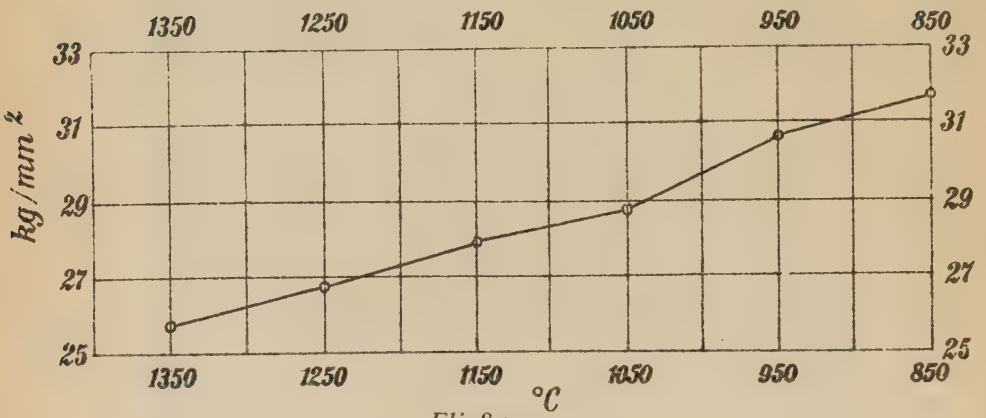
Anfangstemp.	Ungeglüht	1350	1250	1150	1050	950	850
Härtezahl	112,8	125,8	115,9	113,9	117,8	120,4	114,0

Zahlentafel 22.

Anfangstemp.	Ungeglüht	1350	1250	1150	1050	950	850
Korngröße in μ^2	—	—	833	732	411	426	164
„	—	—	890	722	405	442	159
„	—	—	914	730	402	437	169
μ^2	—	—	879	728	406	435	164

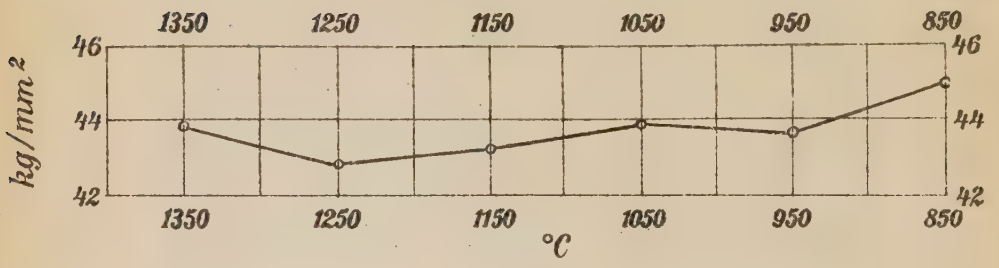
Reihe III. Geschm. u. schnell abgekühlter Teil.

Abb. 20



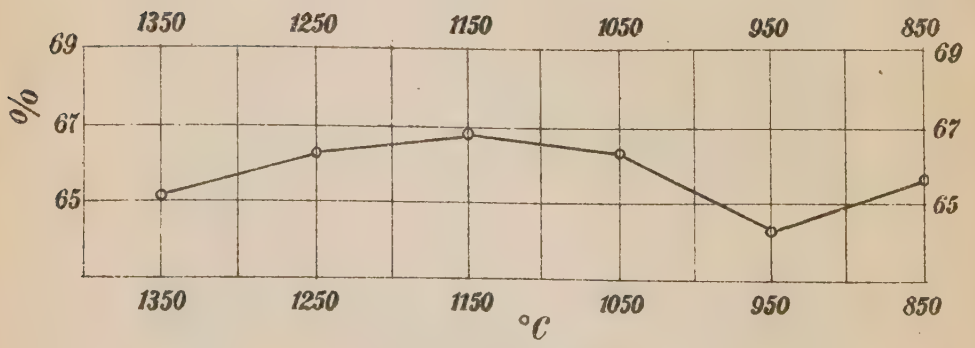
Fließgrenze.

Abb. 21.



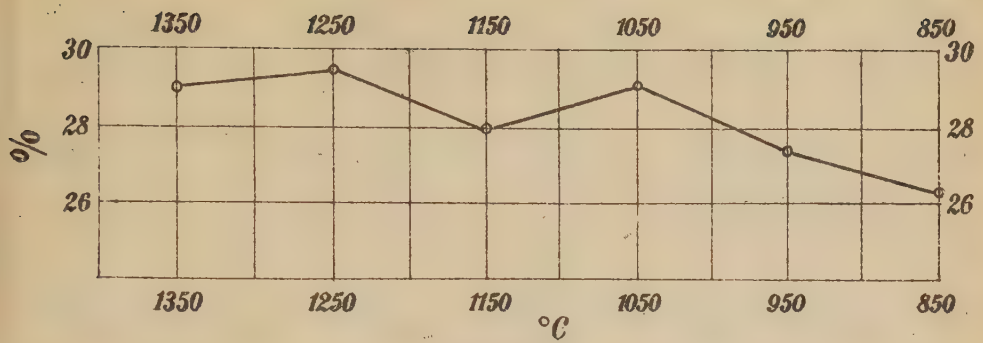
Festigkeit.

Abb. 22.



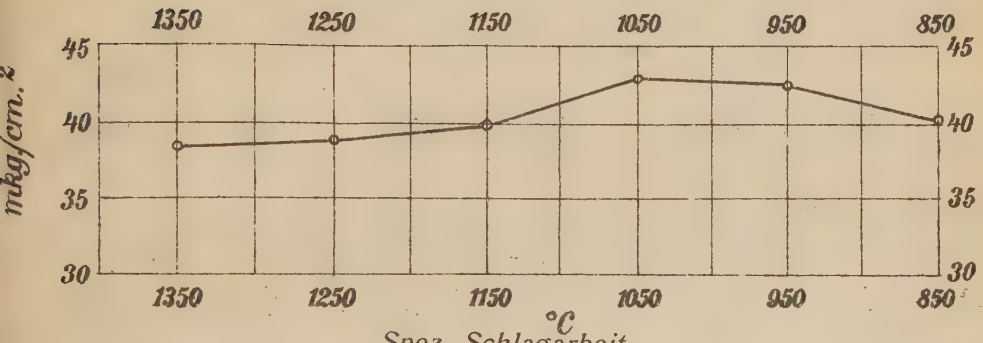
Kontraktion.

Abb. 23.



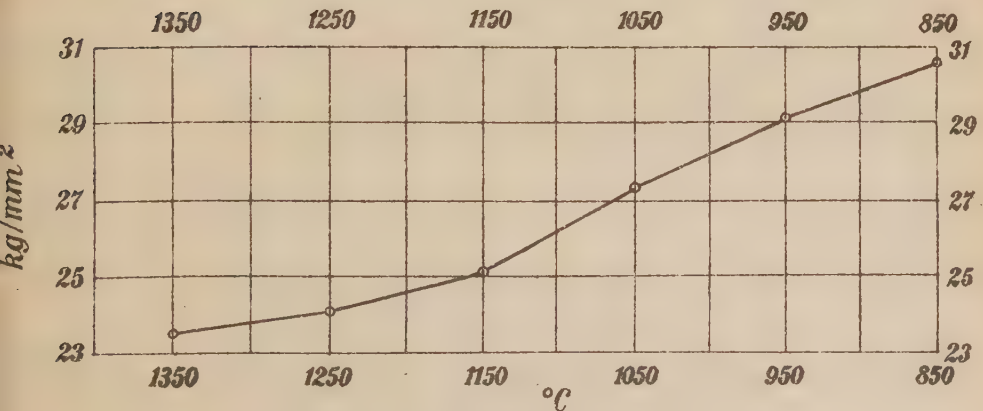
Dehnung.

Abb. 24.



Spez. Schlagarbeit.

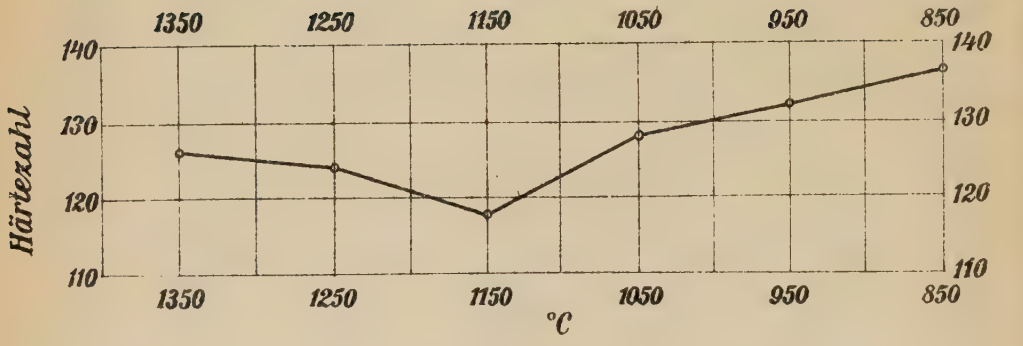
Abb. 25.



Ungeschmiedeter und schnell abgek. Teil.
Fließgrenze an Druckversuchen ermittelt.

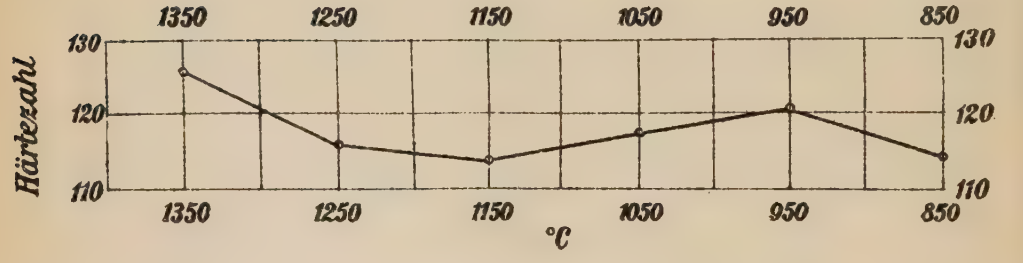
Härtezahl.

Abb. 26.



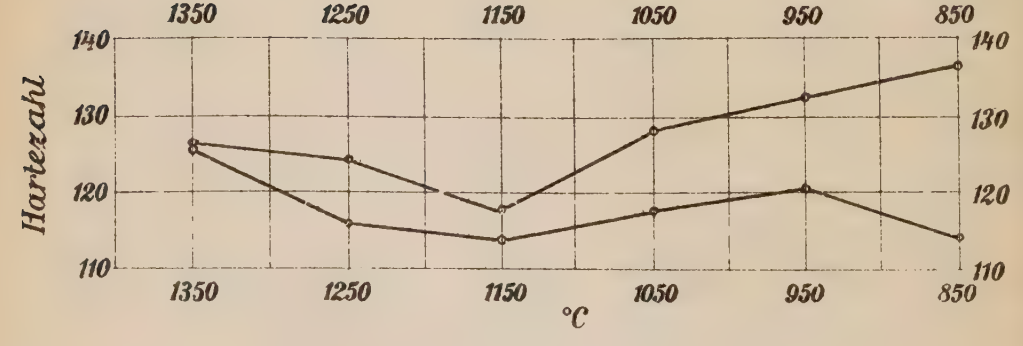
Geschm. und schnell abgekühlter Teil.

Abb. 27



Ungeschm. und schnell abgekühlter Teil.

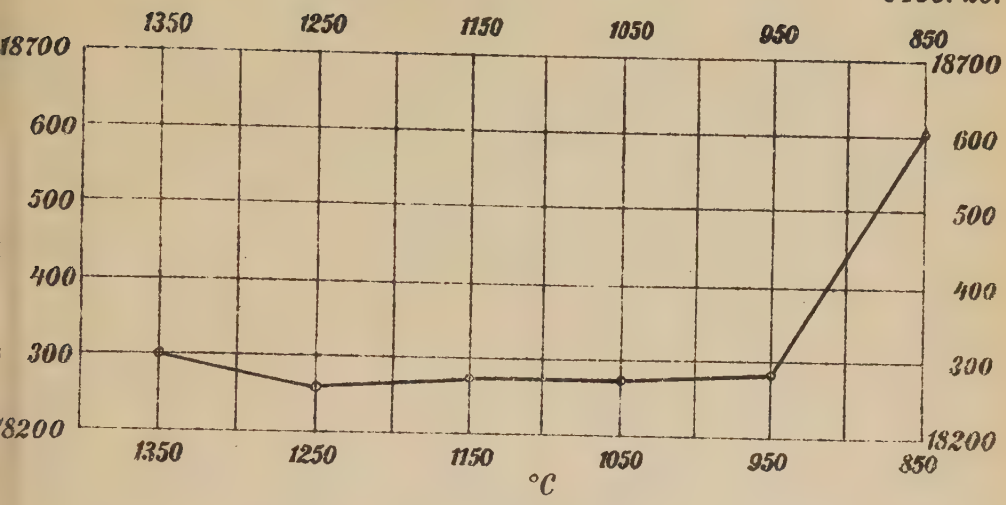
Abb. 28.



Vergleich von Abb. 26 und 27.

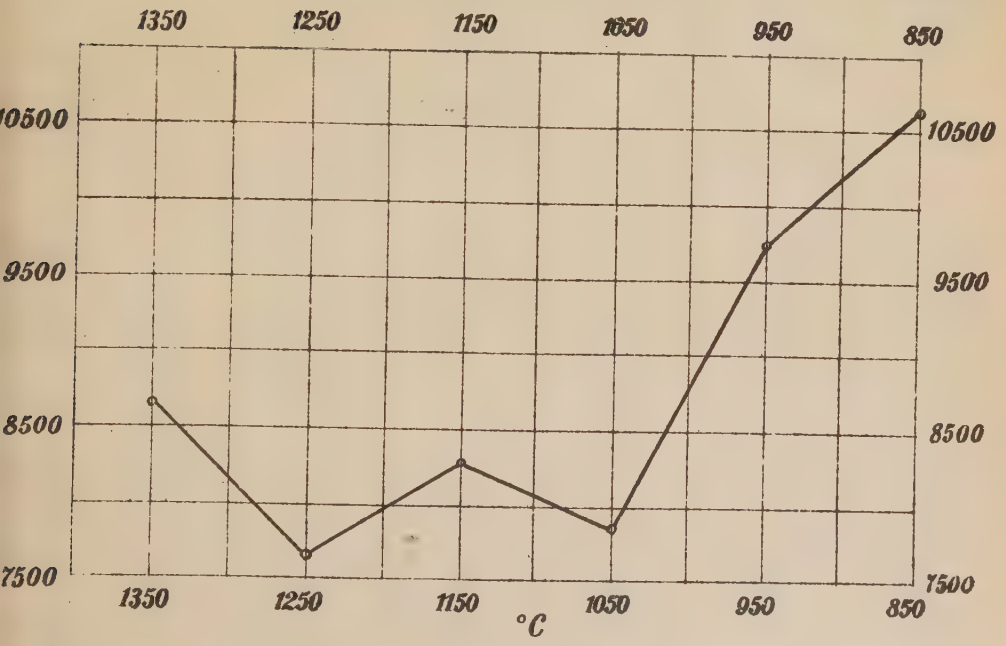
Magnetische Messungen.

Abb. 29.



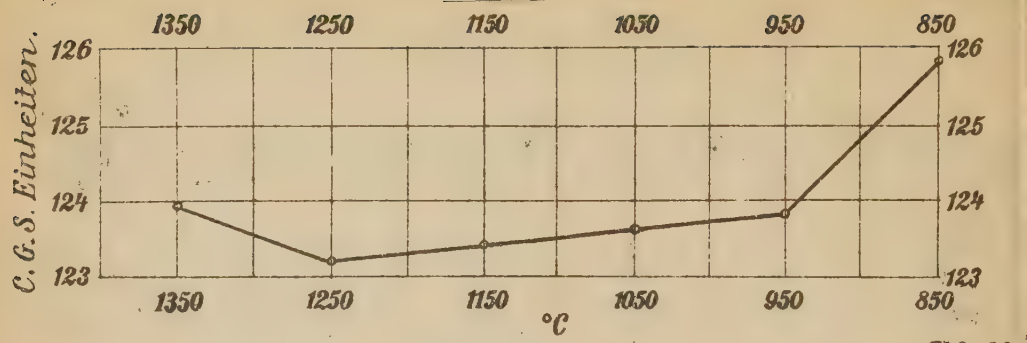
Max. Induktion.

Abb. 30.



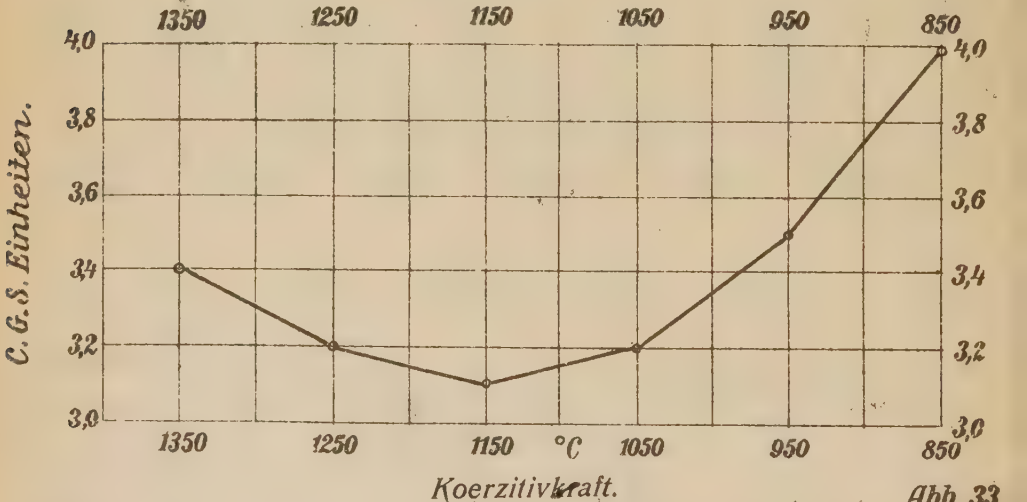
Remanenz.

Abb. 31.



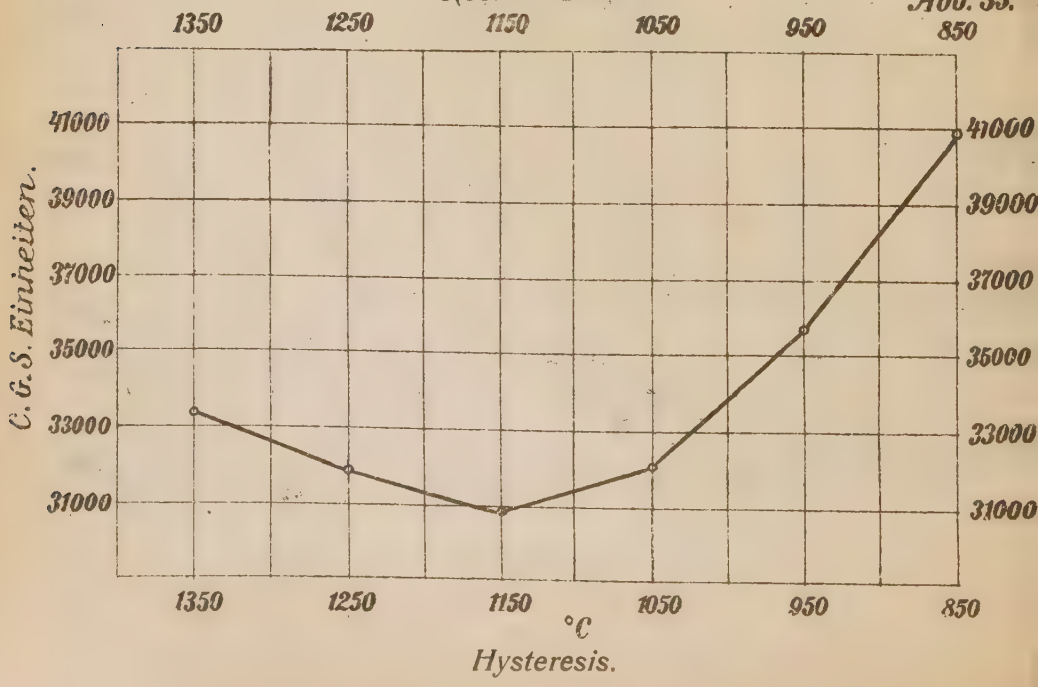
Permeabilität.

Abb. 32.



Koerzitivkraft.

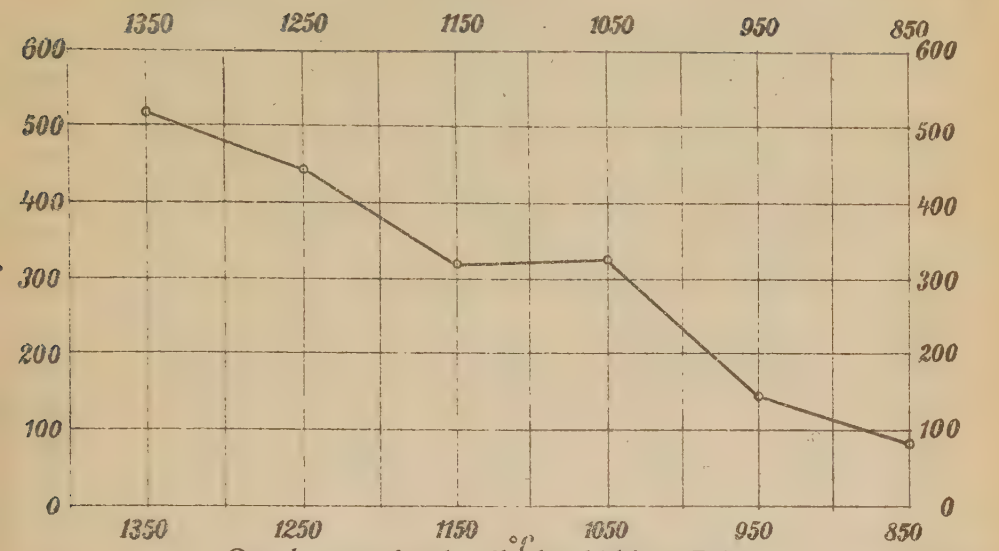
Abb. 33.



Hysteresis.

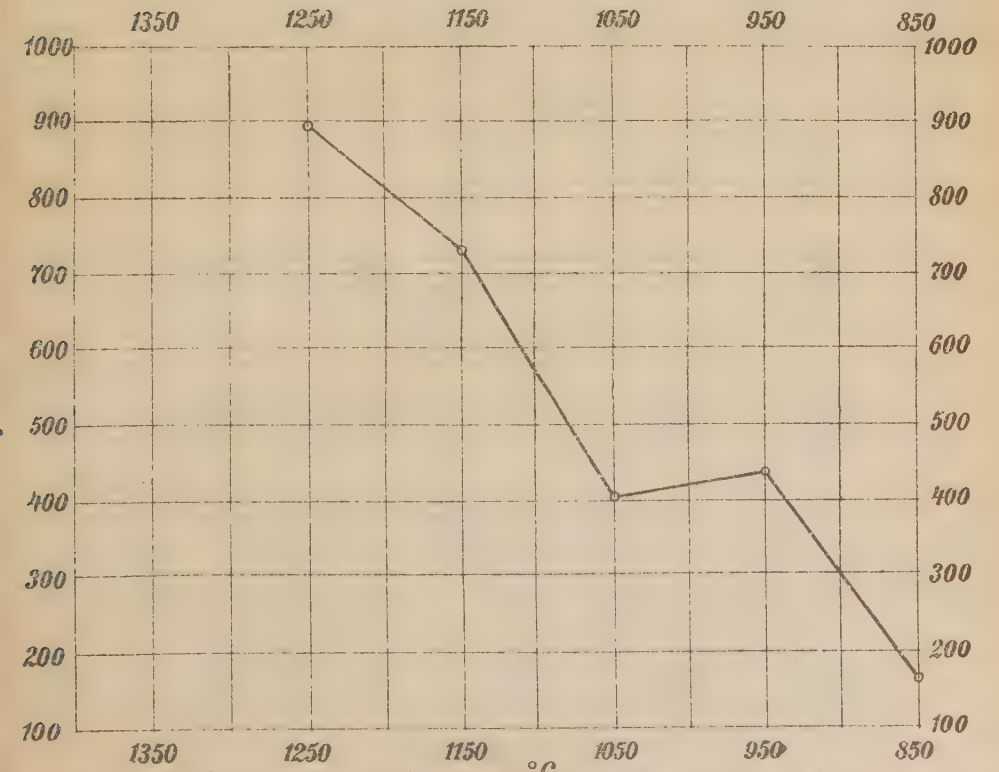
Korngröße in μ^2.

Abb. 34.



Geschm. und schnell abgekühlter Teil.

Abb. 35.

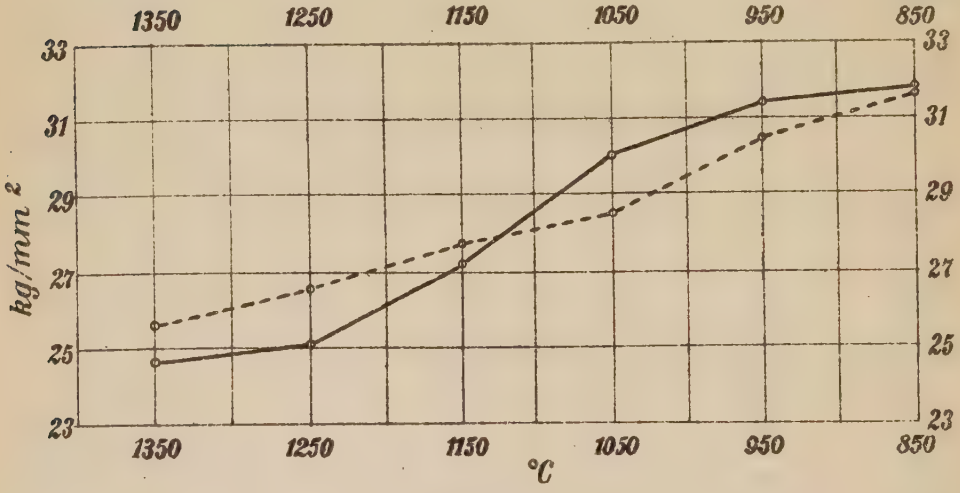


Ungeschm. und schnell abgekühlter Teil.

Aus dem Vergleich bei den Reihen I und III ergibt sich, wie erwähnt, der Einfluß der Geschwindigkeit der Abkühlung nach dem Schmieden. Die Kurven der Fließgrenze, Festigkeit und Dehnung (Abb. 36, 37, 39) schneiden sich in einem Punkte, weil die Kurven der Reihe III bei gleichem Verlauf eine geringere mittlere Neigung zu besitzen scheinen. Bei den Kurven der Festigkeit ist dieser Verlauf nicht so deutlich ausgeprägt und die Unterschiede sind geringer. Die Kurven der Härte weichen nur innerhalb des Intervalles 1350—1150° er-

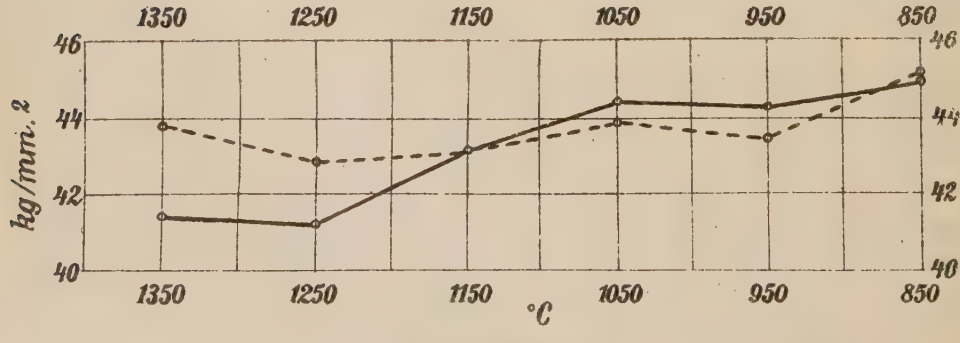
Vergleich d. Reihe I — geschm. u. langs. abgek. Teil mit d. Reihe II — geschm. u. schnell abgek. Teil.

Abb. 36.



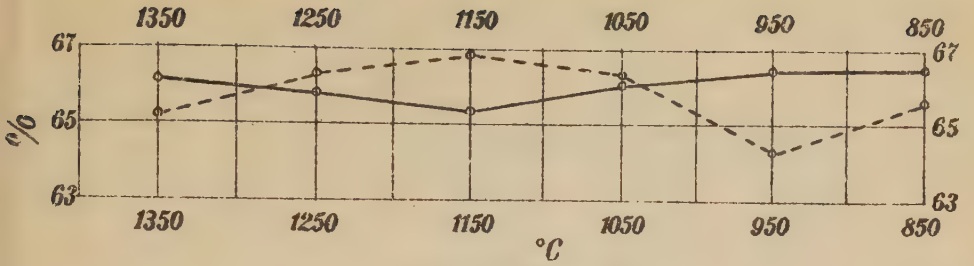
Fließgrenze.

Abb. 37.



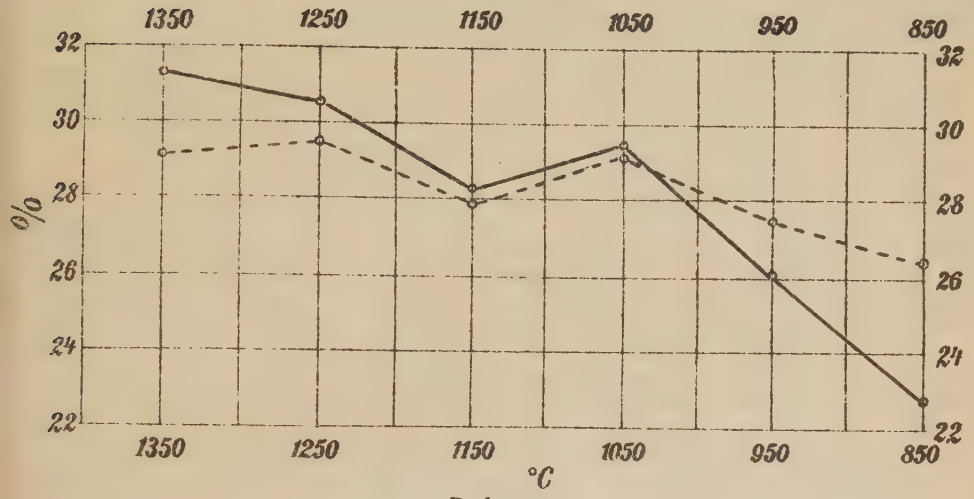
Festigkeit.

Abb. 38.



Kontraktion.

Abb. 39.

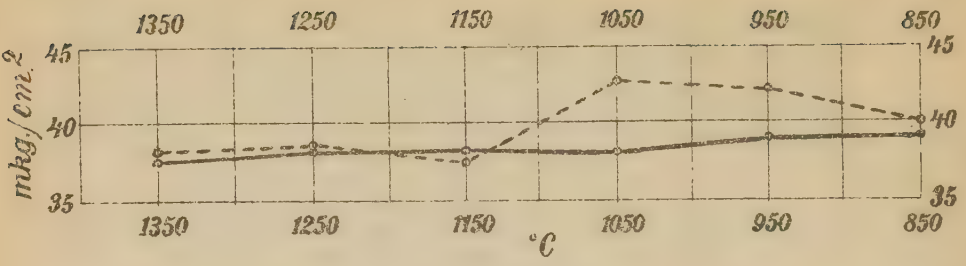


Dehnung.

heblich voneinander ab, und zwar verlaufen in dem genannten Temperaturintervall die Kurven der rasch abgekühlten Proben oberhalb der der langsam abgekühlten.

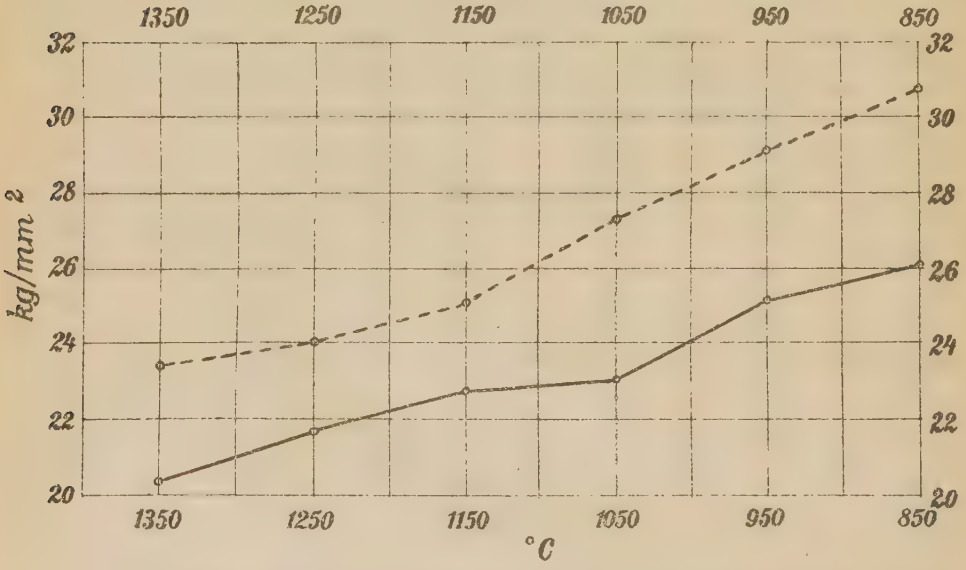
Vielleicht ist diese Erscheinung auf schwache Härtungsvorgänge bei den höheren Temperaturen zurückzuführen. Die Kurven der Kontraktion verlaufen praktisch gleich, die der Schlagfertigkeit weichen nur in dem unterhalb 1150° gelegenen Temperaturintervall voneinander ab. Der Vergleich der Kurven der Korngröße (Abb. 44) zeigt den Zusammenhang zwischen dieser Eigenschaft, der Festigkeit, Fließgrenze und der Härte und gleichzeitig die von verschiedener Seite bereits hervorgehobene mit der Temperatur steigende Kornvergrößernde Einwirkung langsamer Abkühlung.

Abb. 40.



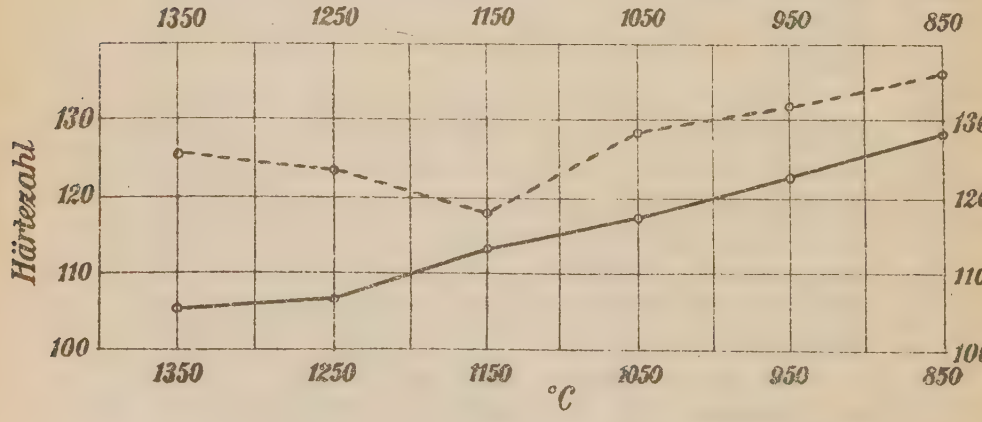
Spez. Schlagarbeit.

Abb. 41.



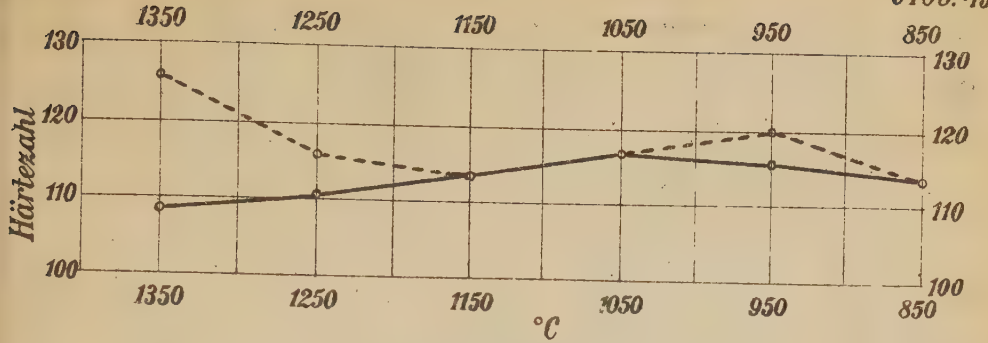
Ungeschm. Teil. Fließgrenze an Druckproben ermittelt.

Abb. 42.



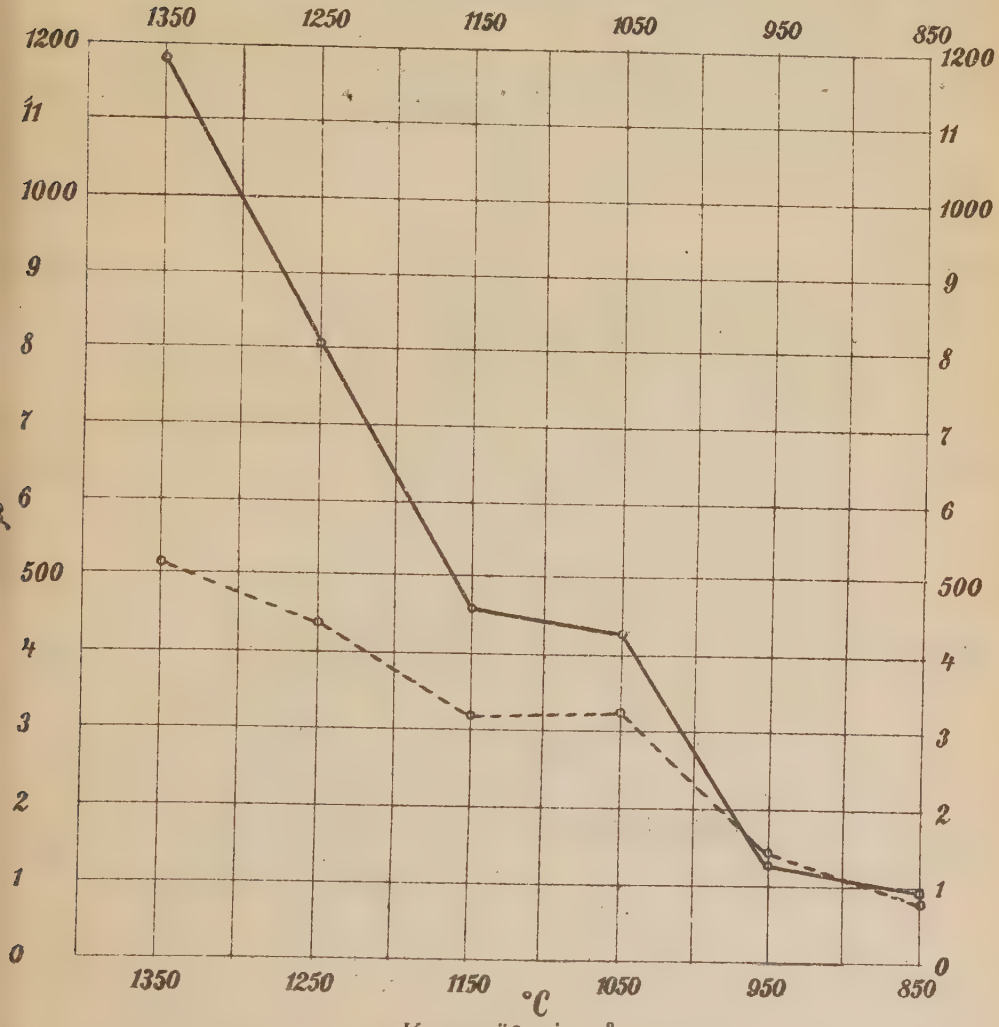
Härtezahlen.

Abb. 43.



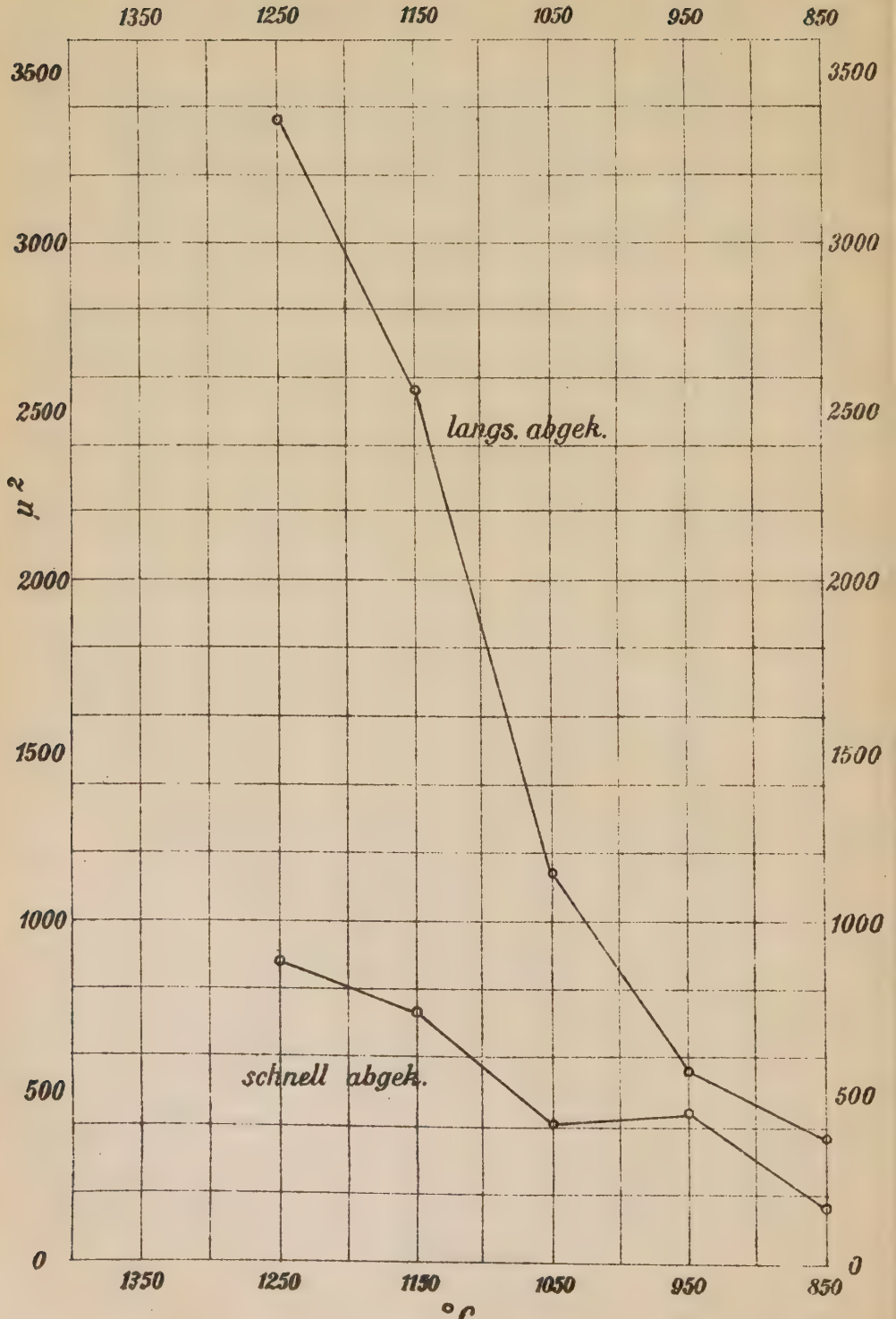
Ungeschmiedeter Teil.

Abb. 44.



Korngröße in μ^2.

Abb. 45



Korngröße in μ².

Die am ungeschmiedeten Teil der Proben vorgenommenen Messungen der Fließgrenze (Druckversuch), der Härte und der Korngröße gestatten einen Vergleich mit den entsprechenden Messungen an den langsam abgekühlten Proben der Reihe I. Ein Vergleich ergibt demnach den Einfluß der Abkühlung auf ungeschmiedetes Material (Abb. 41, 42 und 45). Die Kurven der Fließgrenze (Abb. 41) verlaufen praktisch parallel. Die Fließgrenze des rasch abgekühlten Materials ist weit höher als die des langsam abgekühlten. Die Härte (Abb. 42) des rasch abgekühlten Materials ist lediglich oberhalb 1150° größer als die des langsam abgekühlten (vielleicht auch infolge von schwacher Härtung). Ganz enorm ist der Unterschied der Korngrößen bei hohen Temperaturen (Abb. 45), während von 950° an kein bedeutender Unterschied mehr zu existieren scheint.

Zahlentafel 23.

Geschmiedeter Teil.

Reihe		1350	1250	1150	1050	950	850
I	Fließgr.	24,44	25,43	27,65	30,41	31,45	31,96
III		25,65	26,75	27,96	28,75	30,65	31,78
I	Festigkeit	41,34	41,24	43,20	44,43	44,38	45,02
III		43,86	42,87	43,24	43,88	43,77	45,01
I	Dehnung	31,37	30,50	28,37	29,40	25,90	22,78
III		29,10	29,50	27,90	29,07	27,30	26,30
I	Kontrakt.	66,06	65,89	65,22	66.19	66,36	66,43
III		65,18	66,25	66,71	66,34	64,27	65,67
I	Fließgr. in % der Festigkeit	59,12	61,63	63,98	68,43	70,95	71,07
III		58,48	62,36	64,65	65,55	70,00	70,61
I	Spez. Schlagarb.	37,98	38,44	38,46	38,11	38,93	39,03
III		38,68	38,86	39,54	42,99	42,45	40,10
I	Härtezahl	105,0	106,6	113,0	117,0	122,8	127,6
III		126,0	124,0	118,0	128,0	132,2	136,4
I	Korngr. in μ^2	1184	801	468	427	130	94
III		515	434	314	324	145	78

Versuchsreihe IV.

Während man die Proben der Reihen I und III zur Erzielung einer hohen Endschmiedetemperatur möglichst schnell auf den gewünschten Querschnitt herunterschmiedete, sind zur Ermittlung des Einflusses der Anfangsschmiedetemperatur die Proben der Reihe IV von verschiedener Anfangstemperatur derartig heruntergeschmiedet worden, daß bei allen die Endtemperatur 850° betrug. Die Abkühlung erfolgte wie bei den Proben der Reihe III an der Luft. Zahlentafel 24 enthält die Ergebnisse der Zerreißversuche und die Abb. 46—52 dieselben Ergebnisse in graphischer Darstellung.

Als Endglied dieser Reihe können die von 950 auf 850° geschmiedeten und im übrigen gleichbehandelten Proben der Reihe III gelten. Sie sind daher in die Schaubilder mit aufgenommen und durch den ihrem Mittelwert

Zahlentafel 24.

Nr.	Temp.	Endtemp.	Fließgr. kg/mm²	Festigkeit kg/mm²	Dehnung in %	Kontraktion in %	Fließgr. in % der Festigk.
102	1350	850	28,24	44,39	27,70	66,67	63,62
103	1350	850	27,64	44,23	27,30	68,42	62,49
104	1350	850	27,92	44,51	29,30	67,65	62,73
Mittel	1350	850	27,93	44,38	28,10	67,58	62,95
107	1250	850	27,17	43,84	26,50	68,65	61,98
108	1250	850	27,13	44,05	27,60	66,71	61,59
109	1250	850	27,24	43,66	27,80	67,23	62,40
Mittel	1250	850	27,18	43,85	27,30	67,53	62,00
112	1150	850	28,92	44,34	28,90	68,35	65,45
113	1150	850	29,34	43,87	28,40	66,88	66,88
114	1150	850	27,93	44,03	28,20	66,49	63,43
Mittel	1150	850	28,73	44,08	28,50	67,24	65,25
117	1050	850	29,80	43,98	30,90	68,36	67,76
118	1050	850	28,28	44,25	30,70	66,92	63,91
119	1050	850	29,04	43,98	30,95	65,99	66,03
Mittel	1050	850	29,04	44,07	30,85	67,09	65,90

Zahlentafel 25.

Spez.Schlagarbeit	1350 −850°	1250 −850°	1150 −850°	1050 −850°
Spez.Schlagarbeit mkg/cm²	37,64	36,55	38,50	36,92
„	38,82	39,23	37,20	36,50
Mittel	38,32	37,89	37,85	36,71

Zahlentafel 26.

Härtezahlen	1350 −850°	1250 −850°	1150 −850°	1050 −850°
Härtezahlen	116	117,6	113,6	113,2

Zahlentafel 27.

Kornmessungen	1350 −850°	1250 −850°	1150 −850°	1050 −850°
Korngröße in μ^2	391	227	211	91
„	388	226	211	105
„	403	205	199	101
μ^2	394	219	207	99

entsprechenden Punkt ist zum Vergleich eine Horizontale gezogen.

Man erkennt, daß mit Abnahme der Fließgrenze, der Korngröße und der Festigkeit alle Eigenschaften zwischen den Schmiedetemperaturen 1050 und 950° eine plötzliche starke Veränderung erleiden, die bei der spezifischen Schlagarbeit und der Härte positiv d. h. gleich einer Zunahme bei der Dehnung, Kontraktion negativ, d. h. einer Abnahme ist. Fließgrenze und Korngröße verändern sich kontinuierlich von der höchsten zur niedrigsten Schmiedetemperatur, und zwar nimmt erstere zu, letztere ab; die Festigkeit verändert sich praktisch nicht, ist also unabhängig von der Anfangsschmiedetemperatur. Bis zu der bei 1050° erfolgenden plötzlichen Veränderung bleiben spezifische Schlagarbeit, Kontraktion und Härte

praktiseh gleich, die Dehnung dagegen steigt zuerst langsam, dann rascher bis zu dieser Temperatur. Von den erstgenannten drei Eigenschaften sind Schlagfestigkeit und Härte bis zu dieser Temperatur erheblich niedriger und die Kontraktion ist erheblich höher als die 950° entsprechenden Werte. Nimmt man die bei 1050° niedrigere Schlagfestigkeit daher in Kauf, so ergibt sich aus dieser Versuchsreihe das praktisch wichtige Resultat, daß es zur Erzielung der besten Eigenschaften (insbesondere niedrige Härte, hohe Kontraktion und Dehnung bei guter Fließgrenze und Festigkeit) am zweckmäßigsten ist, die Anfangstemperatur bei 1050, die Endtemperatur bei 850° zu wählen, aber nicht rasch zu schmieden. Diese Folgerung gilt natürlich nur für die gewählten Versuchsbedingungen.

Es ist hier der geeignete Ort zur Besprechung der Bedeutung und Genauigkeit der Versuchsergebnisse im allgemeinen und der dieser Reihe im besonderen. Zur Ermittelung des Einflusses des Maßes und der Temperatur der Formgebung ist der Schmiedeversuch bei weitem nicht so sehr geeignet, wie z. B. der Walz- oder Preßversuch. Diese Versuche gestatten ein bestimmtes, innerhalb gewisser Grenzen veränderliches Formgebungsmaß bei nahezu konstanter Temperatur zu erteilen, während beim Schmiedeversuch eine große Anzahl Teilformänderungen bei verschiedenen Temperaturen (innerhalb der Grenzen Anfangs- bzw. Endtemperatur) erteilt wird. Die Gesamtformänderung ist demnach eine Summe von bei verschiedenen Temperaturen erteilten Formänderungen, und es ist nahezu unmöglich, anzugeben, wie sich die ermittelte Beeinflussung der Eigenschaften auf die einzelnen Teile des Formänderungsvorganges verteilt, sondern nur möglich, zu einer Gesamtformänderung eine Gesamtbeeinflussung zu finden. Nun ist offenbar, wie aus den Beckmannschen und diesen Versuchen hervorgeht, der Widerstand eines Materials um so geringer, je höher die Formänderungstemperatur ist, und zwar steigt der Widerstand erst langsam, dann rascher mit der Temperatur. Zwei Hammerschläge gleicher Intensität, bei verschiedenen Temperaturen erteilt, bewirken eine verschiedene Formänderung. Nun verteilt sich eine

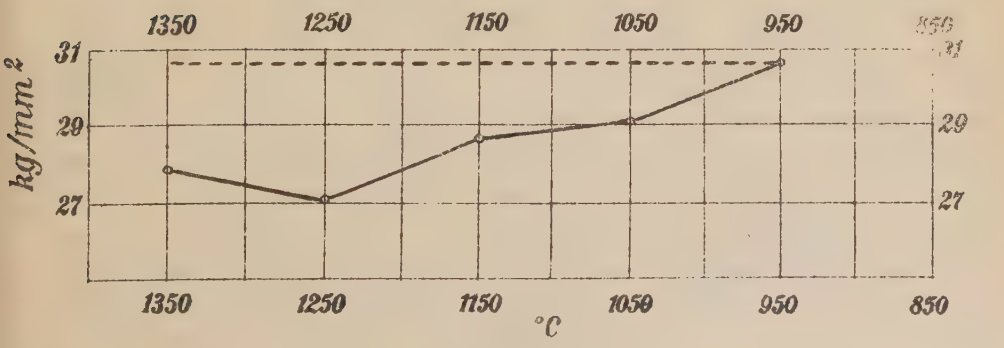
große Zahl von Schlägen auf ein großes Temperaturintervall. Zwei Schmiedeversuche werden daher nur dann gleich sein, wenn das Gesamtmaß der Formänderung, das Temperaturintervall, in dem sie erfolgte, die Zahl der Schläge, und vor allen Dingen die Verteilung dieser Schlagzahl auf das Intervall dieselben sind. Diese Bedingungen genau zu erfüllen, ist unmöglich. Man wird jedoch ihrer Erfüllung um so näher kommen, je größere Übung der die Schmiedeversuche Ausführende hat. Um so größer wird dann die Wahrscheinlichkeit sein, daß zwei in gleichen Schmiedetemperaturintervallen durchgeführte Versuche auch wirklich gleich sind. Die mitunter im Verlauf einzelner Kurven auftretenden Unregelmäßigkeiten, sowie die nicht selten beobachteten größeren Abweichungen der Einzelwerte vom Mittel mögen auf ungleichmäßige, aber fast unvermeidliche Unregelmäßigkeiten beim Schmieden zurückzuführen sein.

Besonders schwierig gestaltet sich die Durchführung der Schmiedeversuche mit großen Intervallen, wie die der vorliegenden Reihe. Es ist außerordentlich schwierig, eine gleiche Verteilung der Schmiedearbeit auf das Intervall zu gewährleisten. Die im allgemeinen gute Übereinstimmung der Einzelwerte dieser Reihe (vergl. Zahlentafel 24) bietet jedoch eine gewisse Gewähr für die gleiche Durchführung der Einzelversuche.

Reihe IV.

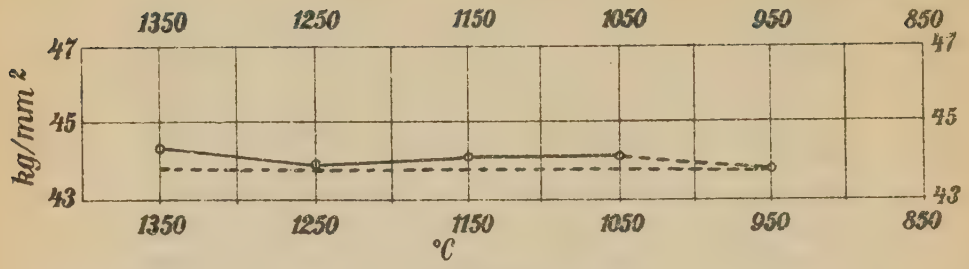
Von 1350° bis 1050° C auf 850° C heruntergeschmiedet. Verglichen mit der Temp. 950° C der Reihe III.

Abb. 46.



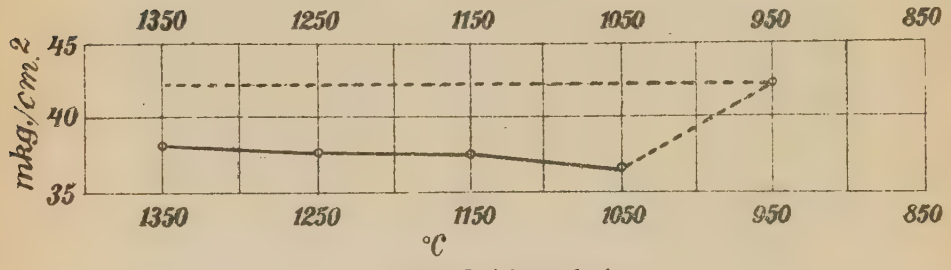
Fließgrenze.

Abb. 47.



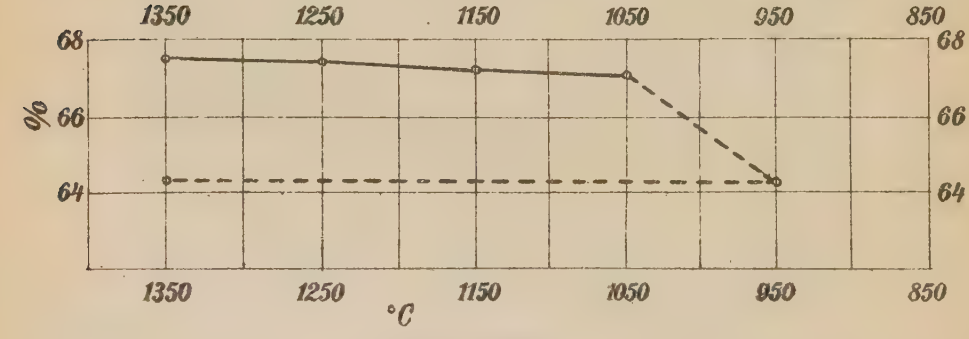
Festigkeit.

Abb. 48.



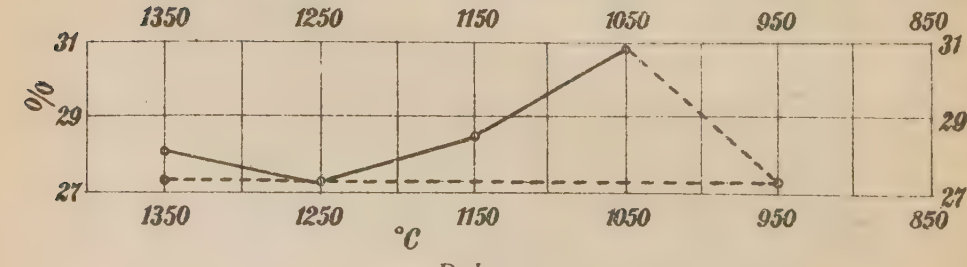
Spez. Schlagarbeit.

Abb. 49.



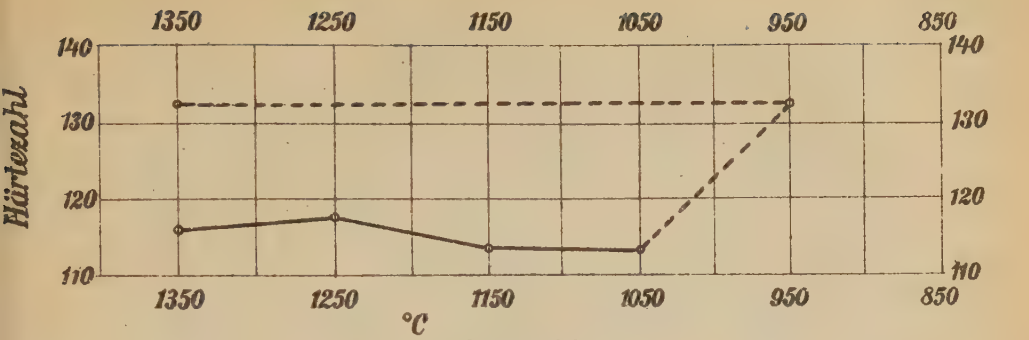
Kontraktion.

Abb. 50.



Dehnung.

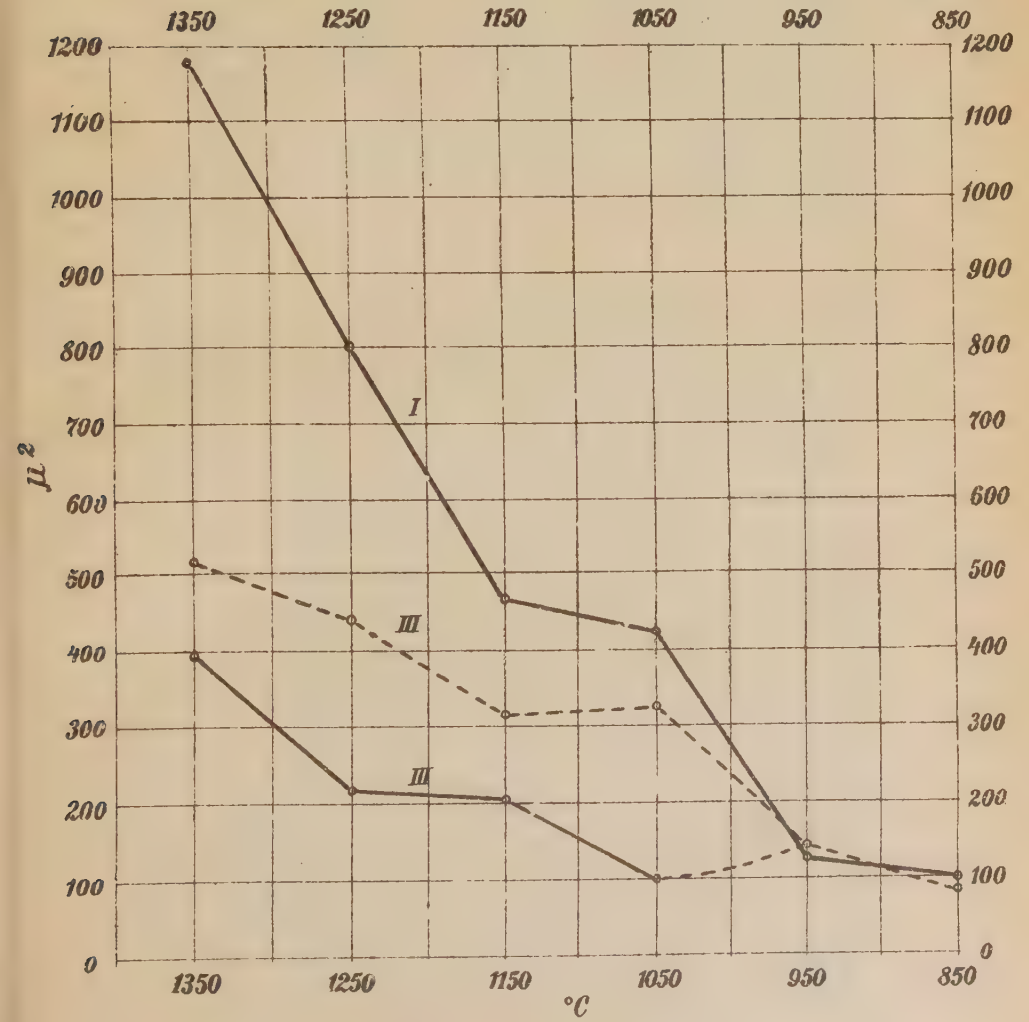
Abb. 51.



Härtezahl.

Vergleich. Reihe I, III und IV.

Abb. 52.



Geschmiedetes Material.

Durch Vergleich der Reihen III und IV ergibt sich der Einfluß der Endschmiedetemperatur (vergl. Zahlentafel 28, bzw. die graphische Zusammenstellung aller Ergebnisse). Wie vorauszusehen war, zeigt sich, daß die Höhe der Endtemperatur von großem Einfluß auf die Materialeigenschaften ist. Die Fließgrenze und die Festigkeit sowie der Anteil der ersteren an der letzteren steigen mit sinkender Endtemperatur.

In den Kontraktions- und Dehnungsweiten dagegen prägt sich der Einfluß der Endtemperatur nicht sehr deutlich aus. Das Gleiche dürfte für die spezifische Schlagarbeit und die Härte der Fall sein.

Von deutlicher Einwirkung ist dagegen die Endschmiedetemperatur auf die Korngröße des Ferrits, wie Abb. 52 zeigt. Der ideale Verlauf der Kurven der Korngrößen der Reihen III und IV ist ungefähr derselbe, nur liegen die Werte der Proben mit niedriger Endtemperatur bedeutend tiefer.

Zahlentafel 28.

Reihe		1350	1250	1150	1050	950
III	Mittl. Endtemp.	1151	1105	1012	926	830
IV		850	850	850	850	
III	Fließgr.	25,65	26,75	27,96	28,76	30,65
IV		27,93	27,18	28,73	29,04	
III	Festigkeit	43,86	42,87	43,24	43,88	43,77
IV		44,38	43,85	44,08	44,07	
III	Dehnung	29,10	29,50	27,90	29,07	27,30
IV		28,10	27,30	28,50	30,85	
III	Kontrakt.	65,18	66,25	66,71	66,34	64,27
IV		67,58	67,53	67,24	67,09	
III	Fließgr. in % der Festigkeit	58,48	62,36	64,65	65,55	70,00
IV		62,95	62,00	65,25	65,90	
III	Spez. Schlagarbeit	38,68	38,86	39,54	42,99	42,45
IV		38,32	37,89	37,85	36,71	
III	Härtezahl	126,0	124,0	118,0	128,0	132,2
IV		116,0	117,6	113,6	113,2	
III	Korngr. in μ^2	515	434	314	324	145
IV		394	219	207	99	

Versuchsreihe V.

Die Proben der Reihe V wurden nach dem Ausschmieden, welches wie bei den Reihen I und III in kürzester Zeit vor sich ging, bei ca. 900° C kurz geglüht und im Ofen langsam erkalten gelassen. Diese Glühtemperatur ergibt sich aus dem Kohlenstoff und Mangangehalt des Materials[1]) als die zweckmässige. Die Zahlentafeln 29—32 enthalten die Ergebnisse der Zerreiß- und Schlagversuche, sowie der Härte- und Korngrößebestimmungen, die Abbildungen 53—58 dieselben Ergebnisse in graphischer Darstellung.

Wie die Betrachtung der Zahlentafeln bzw. der Schaubilder lehrt, hat das Glühen bewirkt, daß sämtliche untersuchte Materialeigenschaften unabhängig von der Schmiedetemperatur untereinander praktisch gleich geworden sind. Sehr lehrreich ist der in der Zahlentafel 33 und in den Abb. 59—65 gegebene Vergleich dieser Reihe mit Reihe I.

Die Horizontalen der Reihe V schneiden die ansteigenden Fließgrenze- und Festigkeitskurven und die sinkenden Kurven der Dehnung und der Korngröße der Reihe I. Der Schnittpunkt der beiden Kurven liegt zwischen 1150 und 1200°, woraus folgt, daß die Eigenschaften einer bei dieser Temperatur geschmiedeten Probe durch das nachträgliche Glühen der Probe nicht beeinflußt werden. Festigkeit und Fließgrenze werden durch das Glühen erhöht, Dehnung und Korngröße dagegen erniedrigt, wenn die Schmiedeanfangstemperatur oberhalb 1150—1200° liegt. Das Umgekehrte ist der Fall, wenn die Schmiedeanfangstemperatur unterhalb dieser Grenze gewählt wird. Hieraus erklärt sich auch, weshalb beim Glühen von Materialien Erhöhung, Erniedrigung bzw. Gleichbleiben der genannten Eigenschaften beobachtet wird. Der durch die Schmiedeanfangstemperatur charakterisierte „Anfangszustand" des Materials gibt den Ausschlag für den Erfolg des Glühens.

[1]) Vgl. Oberhoffer, Die Bedeutung des Glühens von Stahlformguß, St. & E. 1912, 1913, 1914.

Zahlentafel 29.

Nr.	Temp.	Fließgr. kg/mm²	Festigkeit kg/mm²	Dehnung in %	Kontraktion in %	Fließgr. in % der Festigk.
122	1350	27,12	43,00	28,0	66,98	63,19
123	1350	26,75	41,48	26,8	66,45	64,49
124	1350	26,98	42,53	29,0	65,77	63,43
Mittel	1350	26,97	42,34	27,9	66,40	63,70
127	1250	27,35	42,95	28,0	65,37	63,68
128	1250	27,19	42,01	30,8	66,83	64,72
129	1250	27,00	42,82	29,8	66,60	63,05
Mittel	1250	27,18	42,59	29,5	66,27	63,82
133	1150	24,40	42,08	28,8	68,98	62,74
134	1150	27,09	42,06	27,0	66,93	64,41
135	1150	26,47	41,98	30,8	67,61	63,05
Mittel	1150	26,00	42,04	28,9	67,84	63,40
138	1050	27,45	42,26	28,0	67,36	64,95
139	1050	26,25	41,63	28,0	67,00	63,34
140	1050	26,78	42,22	31,0	68,06	63,43
Mittel	1050	26,83	42,04	29,0	67,47	63,91
143	950	27,12	41,45	27,2	67,61	65,43
144	950	27,23	41,88	27,1	68,63	65,02
145	950	28,00	42,00	29,2	68,65	66,67
Mittel	950	27,45	41,71	27,8	68,30	65,71
148	850	27,17	42,30	29,0	66,11	64,23
149	850	27,15	42,27	29,7	68,00	64,23
150	850	26,38	42,22	28,0	66,07	62,48
Mittel	850	26,90	42,26	28,9	66,73	63,65

Im Gegensatze zu den Kurven der Fließgrenze, Festigkeit, Dehnung und Korngröße weichen die Kontraktions- und Schlagfestigkeitskurven der Reihen I und V praktisch wenig voneinander ab; für diese Eigenschaften ist daher ein Einfluß der Schmiedeanfangstemperatur auf die Eigenschaften der geglühten Materialien zum mindesten zweifelhaft. Anders und in ge-

wissem Sinne ähnlich wie für die vier erstgenannten Eigenschaften verhält es sich mit der Härte. Die in Reihe I mit sinkender Schmiedeanfangstemperatur steigende Kurve der Härte entfernt sich um so mehr von der Horizontalen der Reihe V, je niedriger die Schmiedeanfangstemperatur ist, doch wird die Abweichung erst von 1150° an merklich. Dies bedeutet in anderen Worten, daß Glühen der Proben mit höheren Schmiedeanfangstemperaturen, statt wie bei Festigkeit und Fließgrenze Erhöhung, bei Dehnung und Korngröße Erniedrigung zu bewirken, auf die Härte ohne Einfluß ist, Glühen von Proben mit Schmiedeanfangstemperaturen unter 1150° dagegen um so stärkere Erniedrigung der Härte bewirken, je niedriger diese Temperatur ist.

Zahlentafel 30.

Anfangstemp.	1350	1250	1150	1050	950	850
Spez.Schlagarb. mkg/cm²	38,07	39,43	38,53	40,39	39,89	39,90
„	38,11	37,94	39,17	39,73	39,80	39,33
Mittel	38,09	38,68	38,85	40,06	39,84	39,62

Zahlentafel 31.

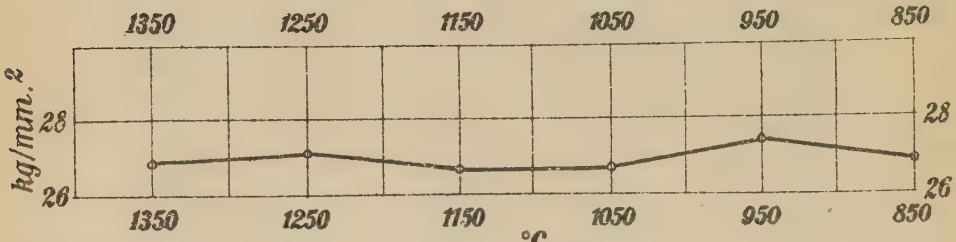
Anfangstemp.	1350	1250	1150	1050	950	850
Härtezahl	103,4	103,8	101,8	101,2	100,6	99,8

Zahlentafel 32.

Glühtemperatur 900° C	1350	1250	1150	1050	950	850
Korngröße μ^2	422	454	509	479	502	466
„	416	460	503	481	506	464
„	425	459	501	483	504	468
μ^2	421	458	504	481	504	466

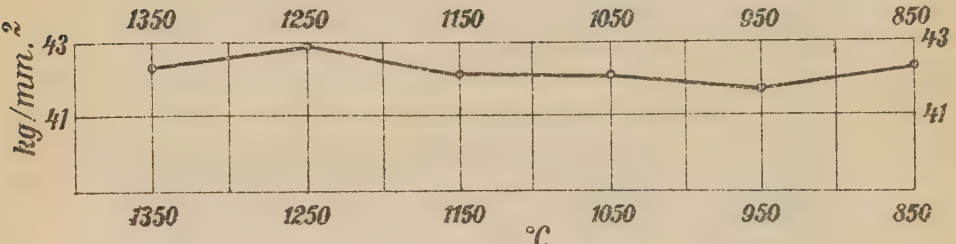
Reihe V. Geschmiedet und bei 900° C geglüht.

Abb. 53.



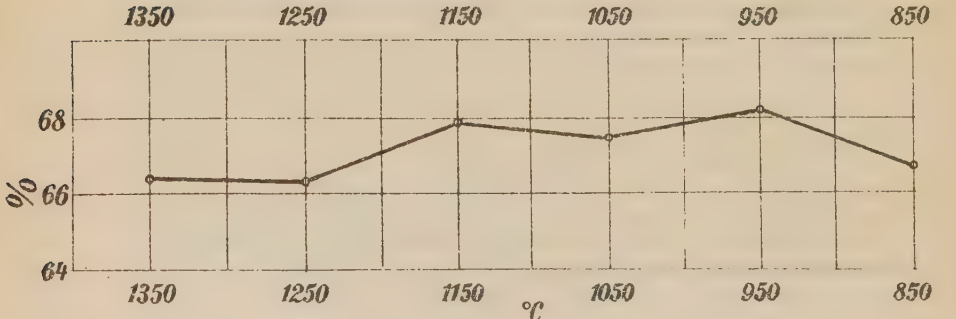
Fließgrenze.

Abb. 54.



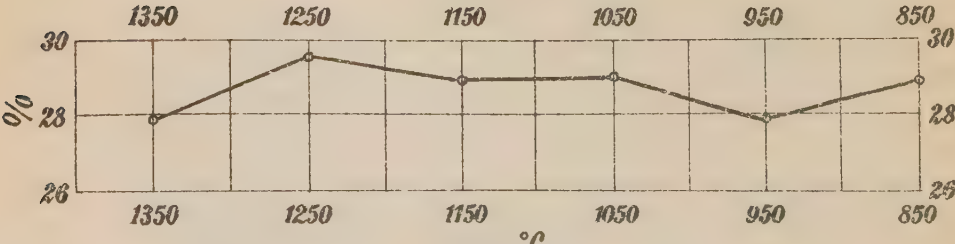
Festigkeit.

Abb. 55.



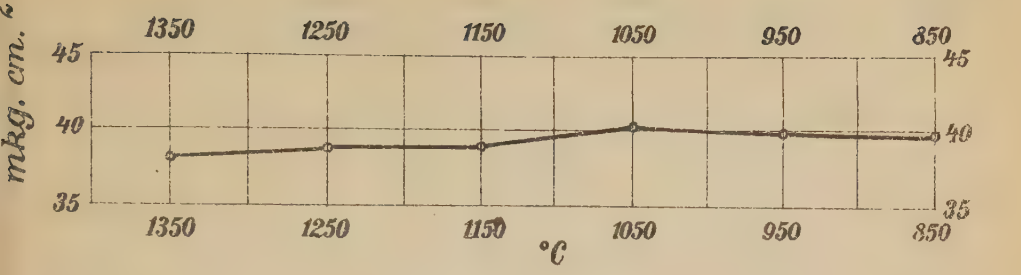
Kontraktion.

Abb. 56.



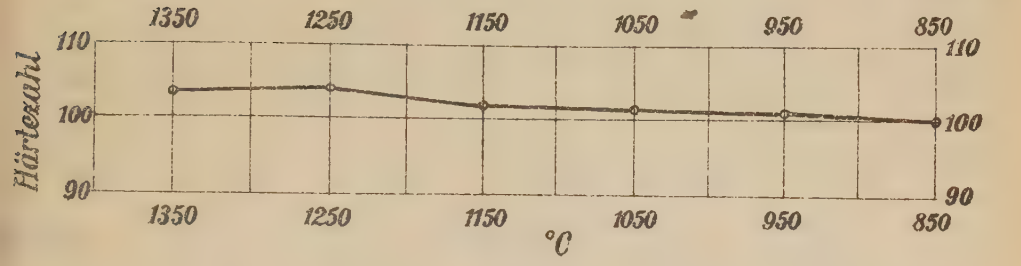
Dehnung.

Abb. 57.



Spez. Schlagarbeit.

Abb. 58.



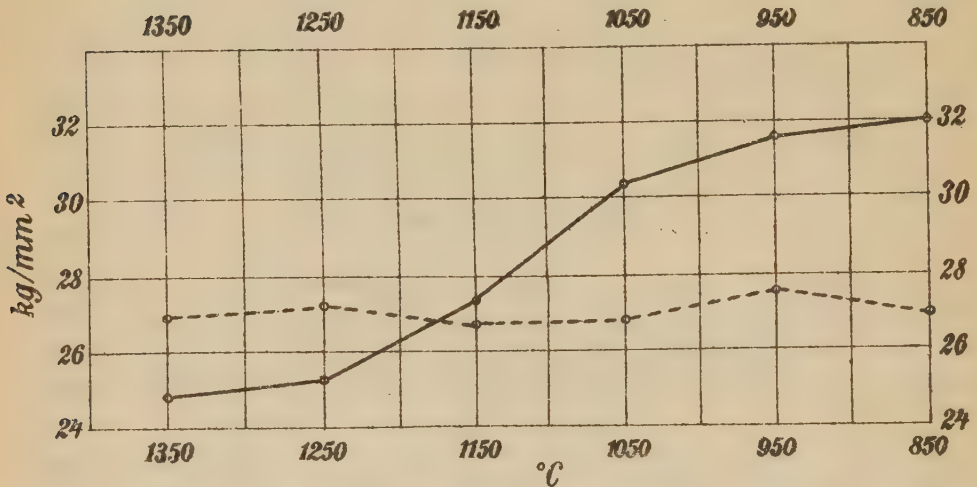
Härtezahl.

Zahlentafel 33.

Reihe	Temp.	1350	1250	1150	1050	950	850
I	Fließgr.	24,44	25,43	27,65	30,41	31,45	31,96
V		26,97	27,18	26,00	26,83	27,45	26,90
I	Festigkeit	41,34	41,24	43,20	44,43	44,38	45,02
V		42,34	42,59	42,04	42,04	41,71	42,26
I	Dehnung	31,37	30,50	28,37	29,40	25,90	22,78
V		27,90	29,50	28,90	29,00	27,80	28,90
I	Kontrakt.	66,06	65,89	65,22	66,19	66,36	66,43
V		66,40	66,27	67,84	67,47	68,30	66,73
I	Fließgr. in % der Festigkeit	59,12	61,63	63,98	68,43	70,95	71,07
V		63,70	63,82	63,40	63,91	65,71	63,65
I	Spez. Schlag-arbeit	37,98	38,44	38,46	38,11	38,93	39,03
V		38,09	38,68	38,85	40,06	39,84	39,62
I	Härtezahl	105,0	106,6	113,0	117,0	122,0	127,6
V		103,4	103,8	101,8	101,2	100,6	99,8
I	Korngr. μ^2	1148	801	468	427	130	99
V		421	458	504	481	504	466

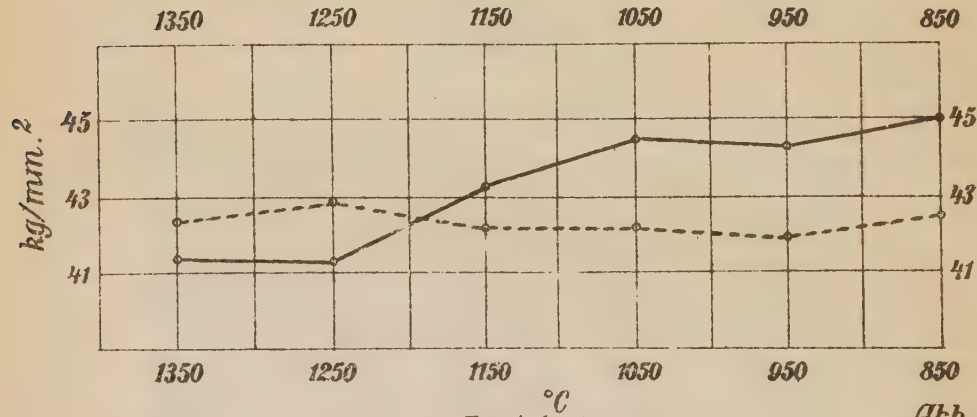
Vergleich d. Reihe I — geschm. u. langs. abgek Teil mit d. Reihe V — geschm. u. bei 900° gegl. Teil.

Abb. 59.



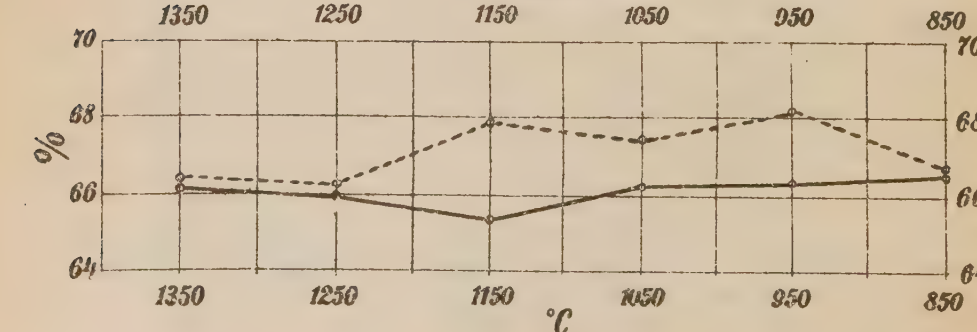
Fließgrenze.

Abb. 60.



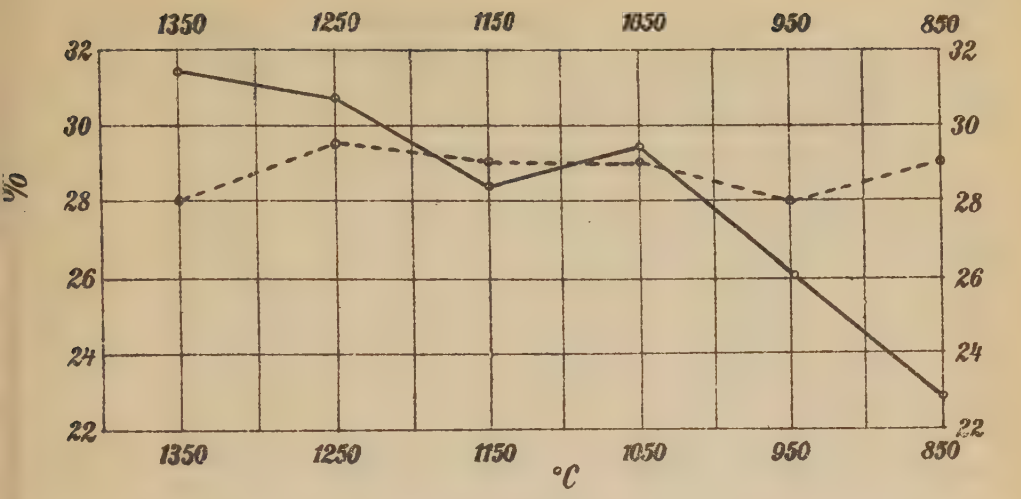
Festigkeit.

Abb. 61



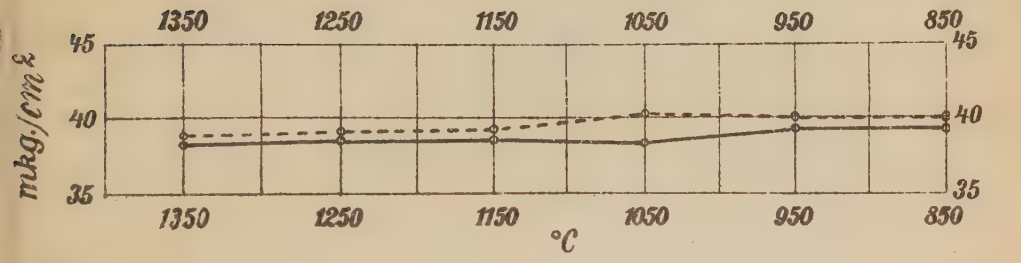
Kontraktion.

Abb. 62.



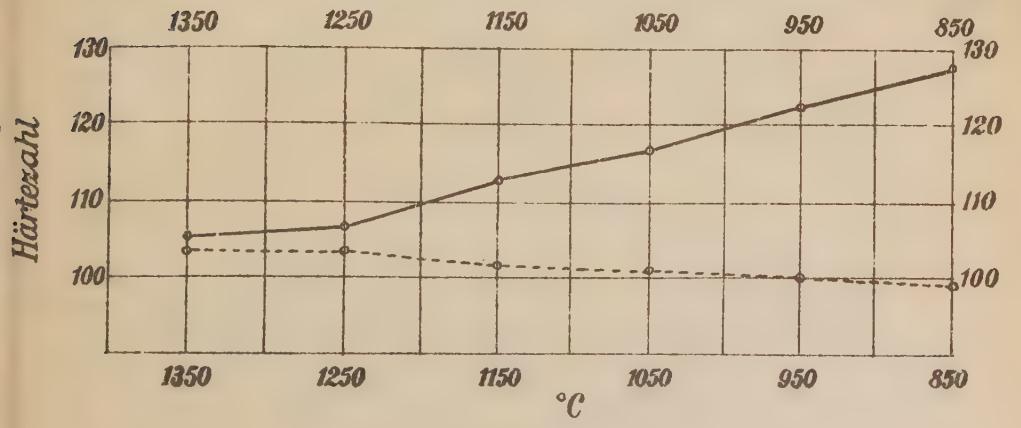
Dehnung.

Abb. 63.



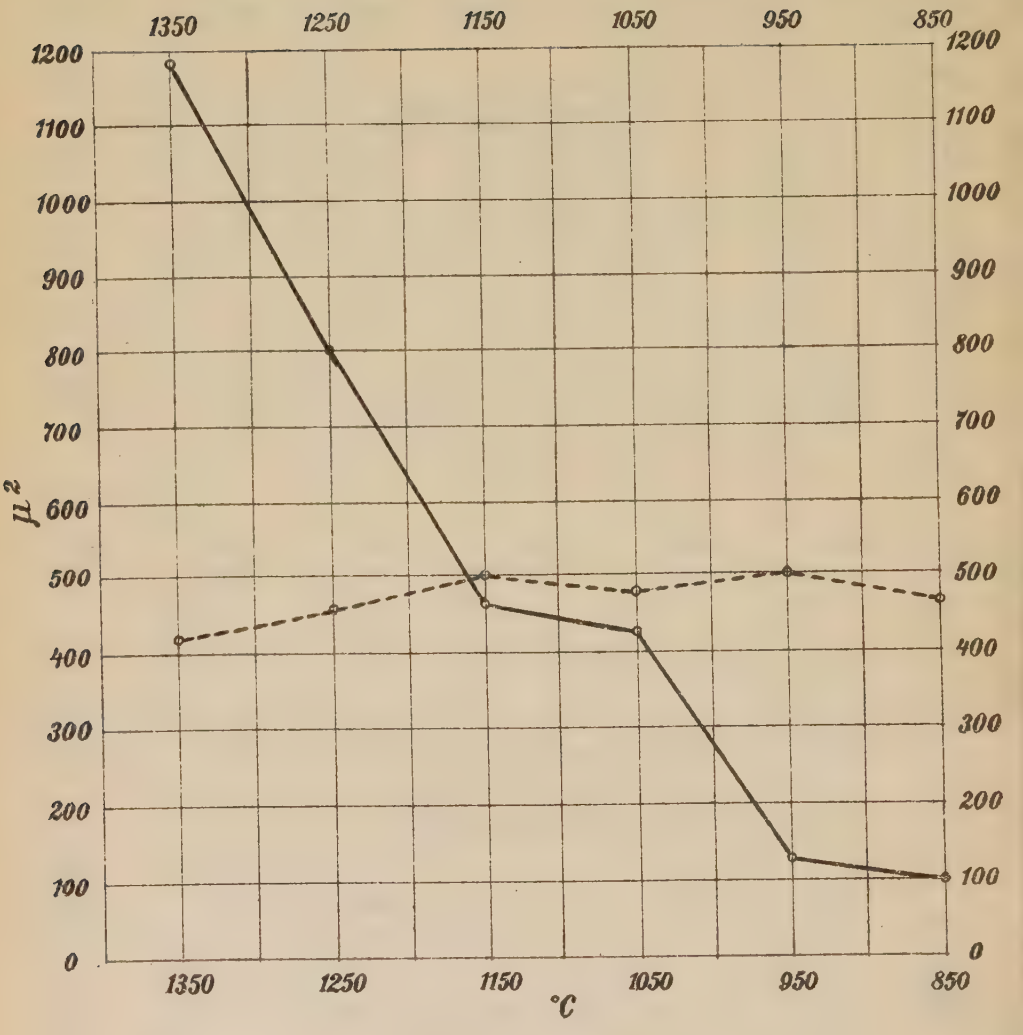
Spez. Schlagarbeit.

Abb. 64.



Härtezahl.

Abb. 65.



Korngröße in μ².

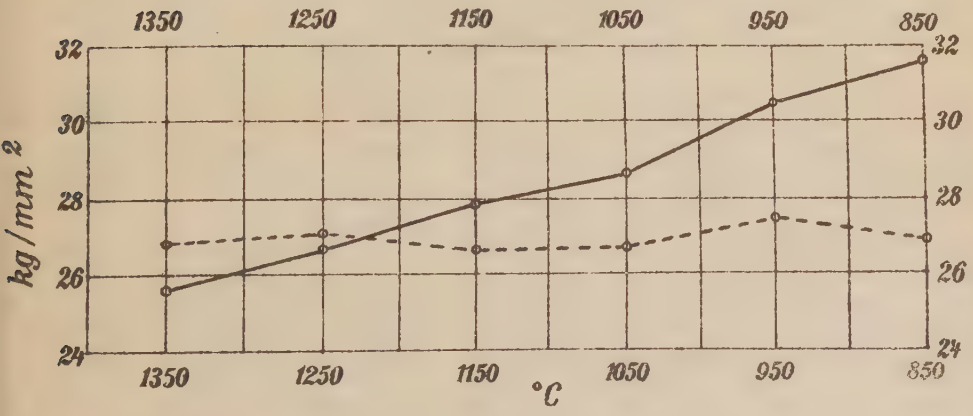
Nach dem beim Vergleich der Reihen I und III Gesagten (langsame bzw. rasche Abkühlung nach dem Schmieden) muß ein Vergleich der Reihe III mit Reihe V zu ähnlichen Schlußfolgerungen wie im Vorhergehenden führen. Für Fließgrenze und Korngröße (Abb. 66 u. 72) ist dies tatsächlich der Fall, nur liegt der Schnittpunkt der Horizontalen mit der ansteigenden Kurve der Fließ-

grenze und der sinkenden Kurve der Korngröße bei höherer Temperatur, etwa 1250—1300°, und die Folge ist, daß das Intervall der Erhöhung der Fließgrenze bzw. Verringerung der Korngröße erheblich geringer ist, als sich aus dem Vergleich von Reihe I und V ergibt. Festigkeit und Schlagfestigkeit zeigen ein Intervall der Erniedrigung (Abb. 67 u. 70), Dehnung und Kontraktion ein Intervall der Erhöhung, doch läßt sich wegen des unregelmäßigen Verlaufes dieser Kurven in Reihe III die Größe des Intervalles und seine Beschaffenheit schwer angeben. Völlig verschieden von dem beim Vergleich von Reihe I und V sich ergebenden Verlauf der Kurven der Härte fällt der Vergleich zwischen Reihe III und V für diese Eigenschaft aus (Abb. 71). Die Härte verläuft in Reihe III weit oberhalb der in Reihe V ermittelten. Die Größe des Intervalls sinkt zunächst mit sinkender Schmiedeanfangstemperatur bis 1150° (vgl. die Beschreibung dieser Kurve in Reihe III), um dann anzusteigen.

Es liegt nahe, die Ergebnisse der Reihe V auch mit denen der Reihe II (ungeschmiedete und bei verschiedenen Temperaturen geglühte Proben) zu vergleichen. Es kämen in Betracht die bei 950° und 850° C geglühten Proben der Reihe II. Aus diesem Vergleich ergibt sich, ob ein Unterschied besteht zwischen ungeschmie-

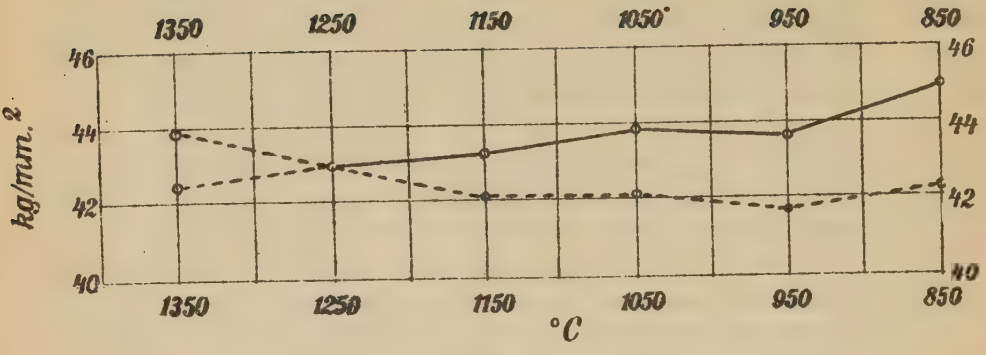
Vergleich d. Reihe III — geschm. u. schnell abgek. Teil mit d. Reihe V — geschm. u. bei 900° gegl. Teil.

Abb. 66.



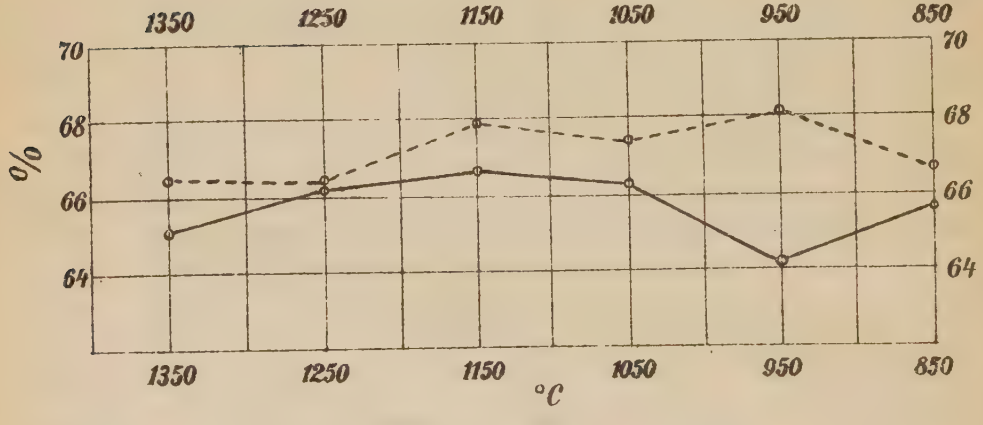
Fließgrenze.

Abb. 67.



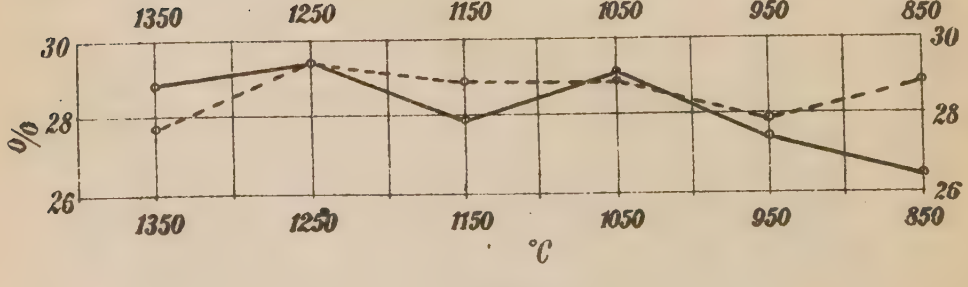
Festigkeit.

Abb. 68.



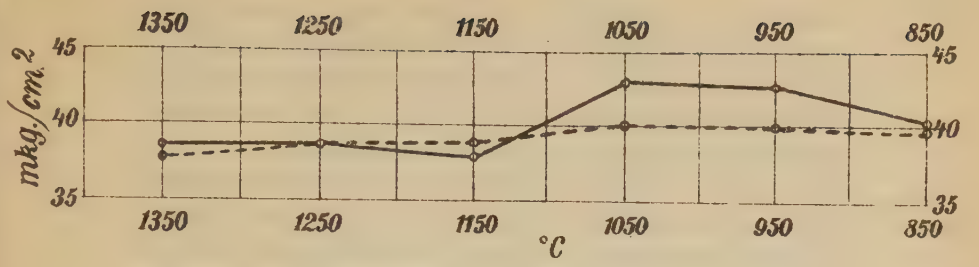
Kontraktion.

Abb. 69.



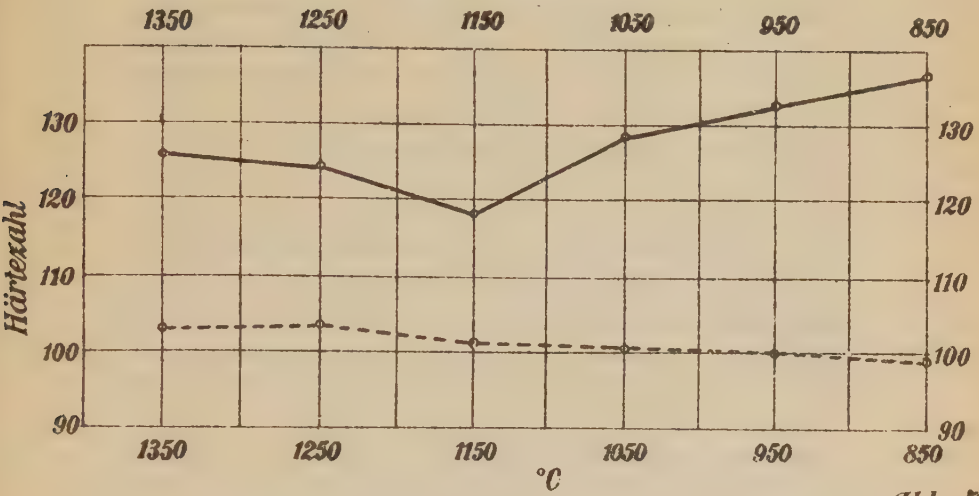
Dehnung.

Abb. 70.



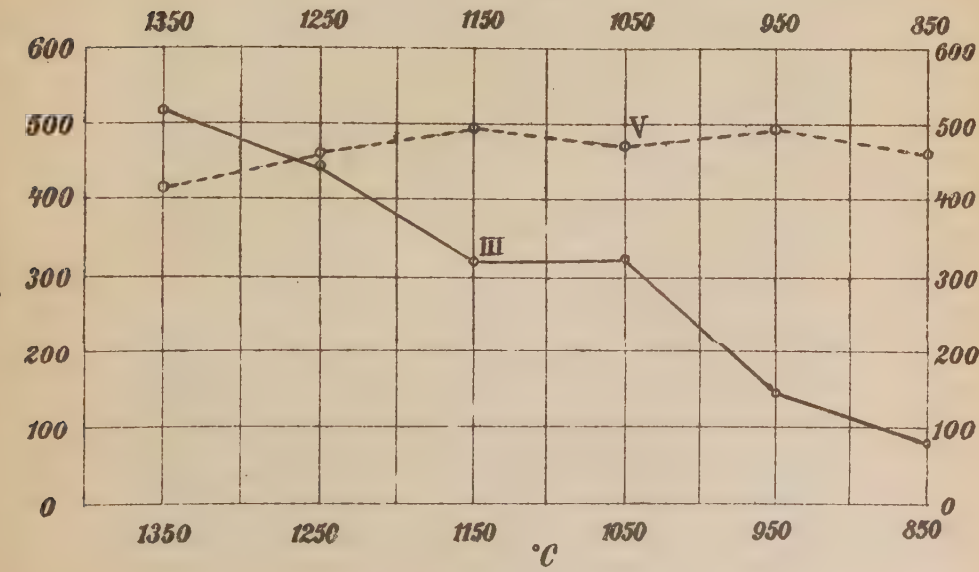
Spez. Schlagarbeit.

Abb. 71.



Härtezahl.

Abb. 72.



Korngröße in μ².

detem und bei 850—950° geglühtem und geschmiedetem und bei 900° geglühtem Material. Aus der diesen Vergleich enthaltenden Zahlentafel 34 erhellt, daß zwischen den Fließgrenzen, Festigkeiten, dem prozentualen Anteil der ersteren an den letzteren sowie der Korngröße praktisch kein Unterschied besteht, demnach der Einfluß des vorangegangenen Schmiedens, gleichgültig bei welcher Temperatur es erfolgte, durch das nachträgliche Glühen wieder aufgehoben wird, geschmiedetes und gegossenes Material also dieselben Werte für diese Eigenschaften aufweisen, falls beide bei 900°, der für dieses Material zweckmäßigen Glühtemperatur, geglüht werden. Dagegen werden die an sich in gegossenem Material recht niedrigen und ungleichmäßigen Werte für Dehnung, Kontraktion sowie spezifische Schlagarbeit bedeutend erhöht. Diese Tatsache ist äußerst interessant und der Wert der Durcharbeitung des Materials durch Schmieden, Walzen oder Pressen liegt wohl hierin begründet: Ein in gegossenem Zustande auf Grund insbesondere niedriger Dehnungs- und Kontraktionszahlen unverwendbares Material wird durch das Schmieden erheblich verbessert.

Zahlentafel 34.

Reihe	Schmiedetemp.	1350	1250	1150	1050	950	850
V	Fließgr.	26,97	27,18	26,00	26,83	27,45	26,90
II						25,17	26,78
V	Festigkeit	42,24	42,59	42,04	42,04	41,71	42,26
II						41,40	42,05
V	Kontrakt.	66,40	66,27	67,84	67,47	68,30	66,73
II						39,71	42,02
V	Dehnung	27,90	29,50	28,90	29,00	27,80	28,90
II						18,60	23,00
V	Fließgr. in % der Festigkeit	63,70	63,82	63,40	63,91	65,71	63,65
II						61,68	63,68
V	Spez.-Schlagarbeit	38,09	38,68	38,85	40,06	39,84	39,62
II						34,45	36,15
V	Härtezahl	103,4	103,8	101,8	101,2	100,6	99,8
II						116,0	114,0
V	Korngr. in μ^2	421	458	504	481	504	466
II						566	376

Dies würde bedeuten, daß bei guten Anfangswerten für Dehnung und Kontraktion (vgl. z. B. das von Oberhoffer in dem zitierten Aufsatz verwandte Material) gegossenes und geschmiedetes Material nach dem Glühen bei 900° gleiche Eigenschaften aufweisen würden. Vielleicht äußert sich aber der Unterschied, wie im vorliegenden Falle, in der Härte. Ob und wie weit jedoch eine Erniedrigung der Härte durch Schmieden erreicht wird, müssen weitere Versuche lehren. Die in einer Parallelarbeit zu dieser von H. Hammel erhaltenen Zahlen sprechen jedenfalls für diese Tatsache.

Zusammenstellung: Reihe I.

Geschmiedeter Teil.

Schmiedetemperatur	1350	1250	1150	1050	950	850	Ursprüngliches Material
Fließgrenze	24,44	25,43	27,65	30,41	31,45	31,96	25,02
Festigkeit	41,34	41,24	43,20	44,43	44,38	45,02	39,14
Kontraktion	66,06	65,89	65,22	66,19	66,36	66,43	—
Dehnung	31,37	30,50	28,37	29,40	25,90	22,78	14,00
Fließgr. in % d. Festigkeit	59,12	61,63	63,98	68,43	70,95	71,07	63,63
Spez.Schlagarbeit	37,98	38,44	38,46	38,11	38,93	39,03	33,85
Härte (Brinell)	105,0	106,6	113,0	117,0	122,8	127,6	112,8
Korngröße	1184	801	468	427	130	94	—

Ungeschmiedeter Teil.

Schmiedetemperatur	1350	1250	1150	1050	950	850	Ursprüngliches Material
Fließgr. aus Druckprobe	20,27	21,69	22,78	23,09	25,11	26,05	25,08
Härte (Brinell)	108,2	110,8	113,2	117,6	116,0	114,0	112,8
Korngröße	—	3361	2561	1144	566	376	—

Zusammenstellung: Reihe II.

Schmiede-temperatur	1350	1250	1150	1050	950	850	Ursprüngliches Material
Fließgrenze	22,63	20,87	21,92	22,78	25,17	26,78	25,02
Festigkeit	41,40	40,16	40,68	40,45	41,40	42,05	39,14
Kontraktion	45,43	41,35	25,70	38,13	29,71	45,02	—
Dehnung	24,27	18,40	20,90	20,50	18,60	23,00	14,00
Fließgr. in % d. Festigkeit	54,09	51,95	53,91	56,31	61,78	63,68	63,63
Spez. Schlagarbeit	35,70	36,52	37,73	35,31	34,45	36,15	33,85
Härte (Brinell)	108,2	110,2	113,2	117,6	116,0	114,0	112,8
Korngröße	—	3361	2561	1144	566	376	—

Zusammenstellung: Reihe III.

Geschmiedeter Teil.

Schmiedetemperatur	1350	1250	1150	1050	950	850	Ursprüngliches Material
Fließgrenze	25,65	26,75	27,96	28,76	30,65	31,78	25,02
Festigkeit	43,86	42,87	43,24	43,88	43,77	45,01	39,14
Kontraktion	65,18	66,25	66,71	66,34	64,27	65,67	—
Dehnung	29,10	29,50	27,90	29,07	27,30	26,30	14,00
Fließgr. in % d. Festigkeit	58,48	62,36	64,65	65,55	70,00	70,61	63,63
Spez. Schlagarbeit	38,68	38,86	39,54	42,99	42,45	40,10	33,85
Härtezahl	126,0	124,0	118,0	128,0	123,2	136,4	112,8
Korngröße Querschliff	497	423	325	351	162	70	—
Korngröße Längsschliff	532	444	302	296	128	87	—
Hysteresis Erg/cm	33340	31920	30900	32150	35660	38900	—
Koerzitivkraft	3,4	3,2	3,1	3,2	3,5	4,0	—
Remanenz	8655	7660	8275	7885	9735	10635	—
H max.	18300	18260	18275	18275	18285	18610	—
Permeabilität	123,9	123,2	123,4	123,6	123,8	125,8	–

Ungeschmiedeter Teil.

Fließgrenze aus Druckpr.	23,92	24,01	25,05	27,36	29,08	30,71	—
Härte (Brinell)	125,8	115,9	113,9	117,8	120,4	114,0	—
Korngröße	—	890	728	406	435	164	—

Zusammenstellung: Reihe IV.

Schmiede-temperatur	1350	1250	1150	1050	950	850	Ursprüngliches Material
Fließgrenze	27,93	27,18	28,73	29,04	—	—	25,02
Festigkeit	44,38	43,85	44,08	44,07	—	—	39,14
Kontraktion	67,58	67,53	67,24	67,09	—	—	—
Dehnung	28,10	27,30	28,50	30,85	—	—	14,00
Fließgr. in % der Bruchgr.	62,95	62,00	65,25	65,90	—	—	63,63
Spez.Schlag-arbeit	38,32	37,89	37,85	36,71	—	—	33,85
Härte (Brinell)	116	117,6	113,6	113,2	—	—	112,8
Korngröße	394	219	207	99	—	—	—

Zusammenstellung: Reihe V.

Schmiede-temperatur	1350	1250	1150	1050	950	800	Ursprüngliches Material
Fließgrenze	26,97	27,18	26,00	26,83	27,45	26,90	25,02
Festigkeit	42,34	42,59	42,04	42,04	41,71	42,26	39,14
Kontraktion	66,40	66,27	67,84	67,47	68,30	66,73	—
Dehnung	27,90	29,50	28,90	29,00	27,80	28,90	14,00
Fließgr. in % d. Festigkeit	63,70	63,82	63,40	63,91	65,71	63,65	63,63
Spez.Schlag-arbeit	38,09	38,68	38,85	40,06	39,84	39,62	33,85
Härte (Brinell)	103,4	103,8	101,8	101,2	100,6	99,8	112,8
Korngröße	421	458	504	481	504	466	—

Schlußbetrachtung.

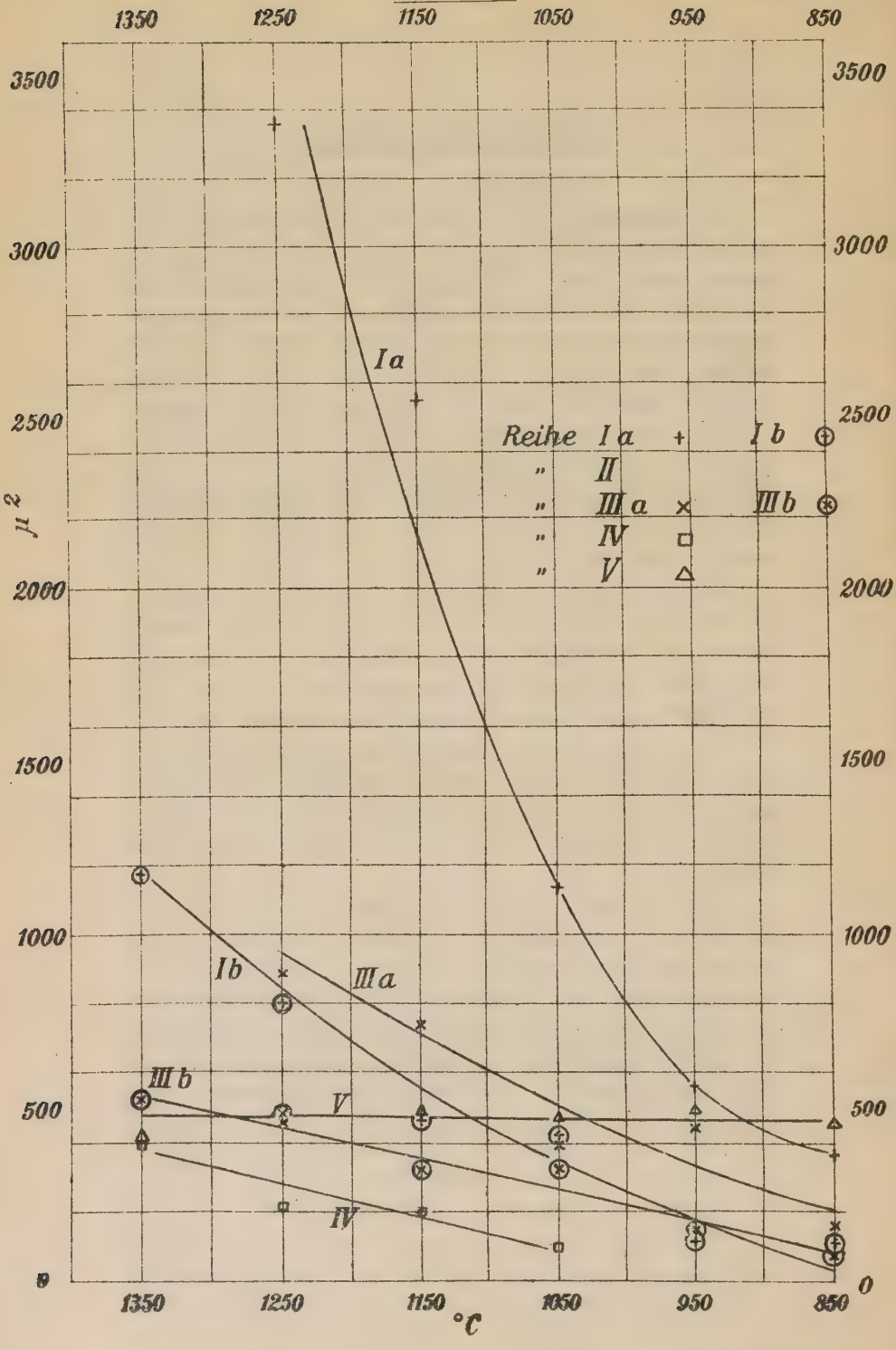
In Abbildung 73—78 sind die Ergebnisse der einzelnen Reihen vergleichsweise aufgetragen und zwar in idealer Form, unter Beifügung der ermittelten Werte. Die Anzahl der im Mittel aufgetragenen Versuche genügte, um den grundsätzlichen Verlauf der Kurven festzulegen; um dagegen den endgültigen Verlauf zu bestimmen, wäre eine größere Anzahl Versuche erforderlich, sofern es überhaupt möglich ist, durch den Schmiedeversuch genaue Versuchsergebnisse zu erhalten. Dem Walz- oder Preßversuch gebührt hier entschieden der Vorzug (vgl. S. 42). Den Kurven kommt also nur eine bedingte Genauigkeit zu.

Die Kurven für Fließgrenze, Festigkeit und Härte, die bei Flußeisen immer nahezu dieselben Richtungen bevorzugen, verlaufen mit abnehmender Behandlungstemperatur nicht geradlinig, sondern weisen bei ca. 1150 bis 1100° C fast allgemein einen Wendepunkt auf.

Von einer Aufzeichnung der Kurven für die spezifische Schlagarbeit ist wegen der geringen Unterschiede und wegen der durch die anormale Form der Schlagproben bedingten Unsicherheit Abstand genommen worden.

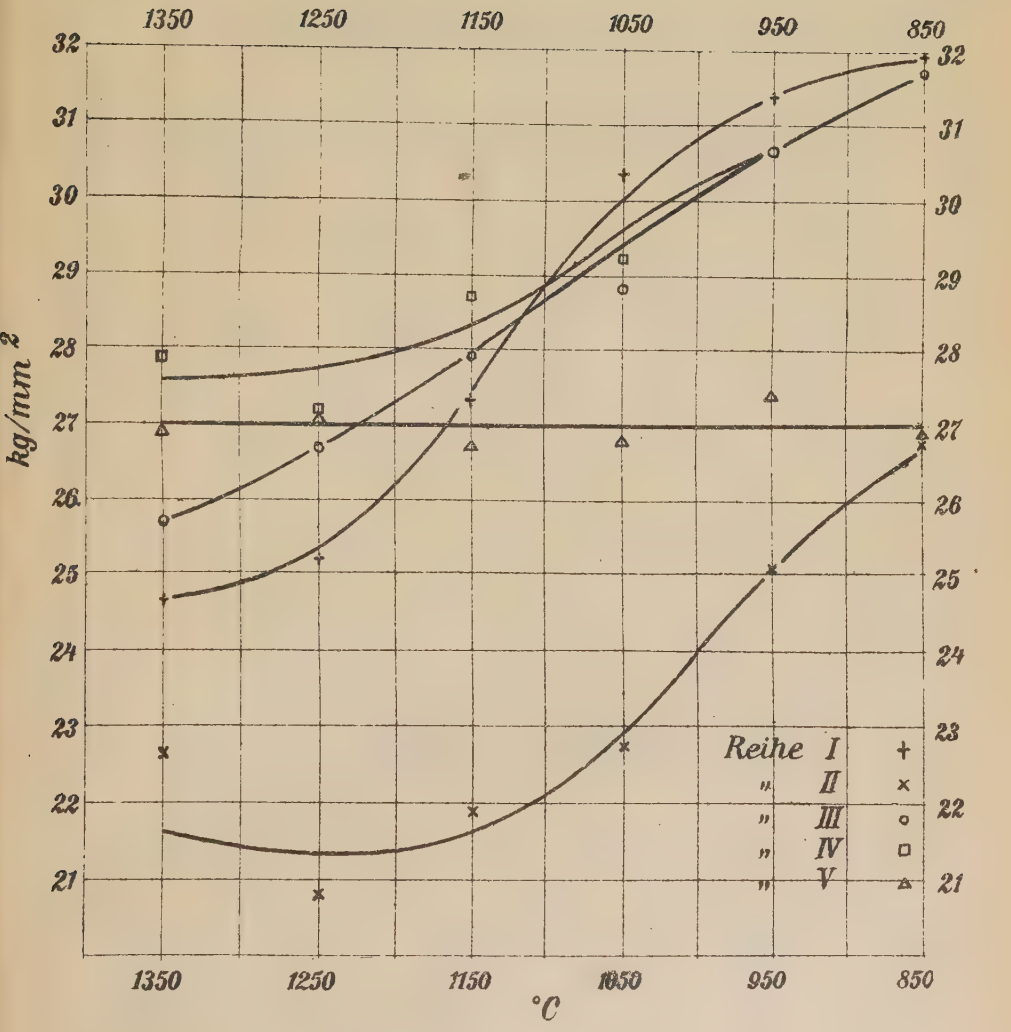
Die Einzelwerte für die Dehnung weisen zwar bedeutende Abweichungen vom Mittel ab und der ideale Verlauf der Kurven weicht manchmal beträchtlich von dem gefundenen ab. Immerhin ist die durch die Kurven vorschlagsweise angedeutete Tendenz nicht zu verkennen. Die zusammengehörigen Kontraktionswerte sind durch Horizontale ebenfalls vorschlagsweise angedeutet. Sie weisen im übrigen kaum Abweichungen untereinander auf.

Abb. 73



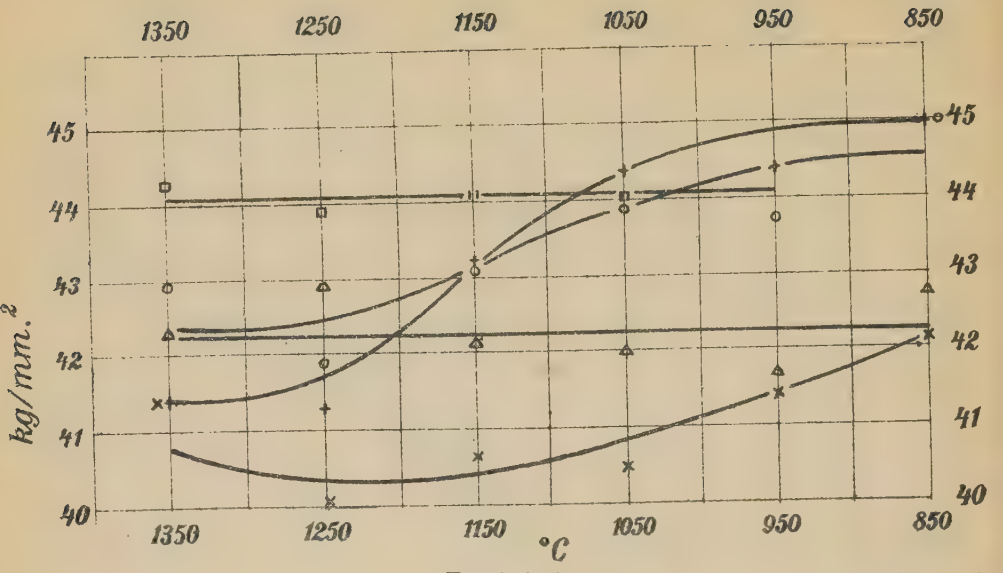
Vergleich sämtlicher ermittelten Korngrößen in μ^2.

Abb. 74.



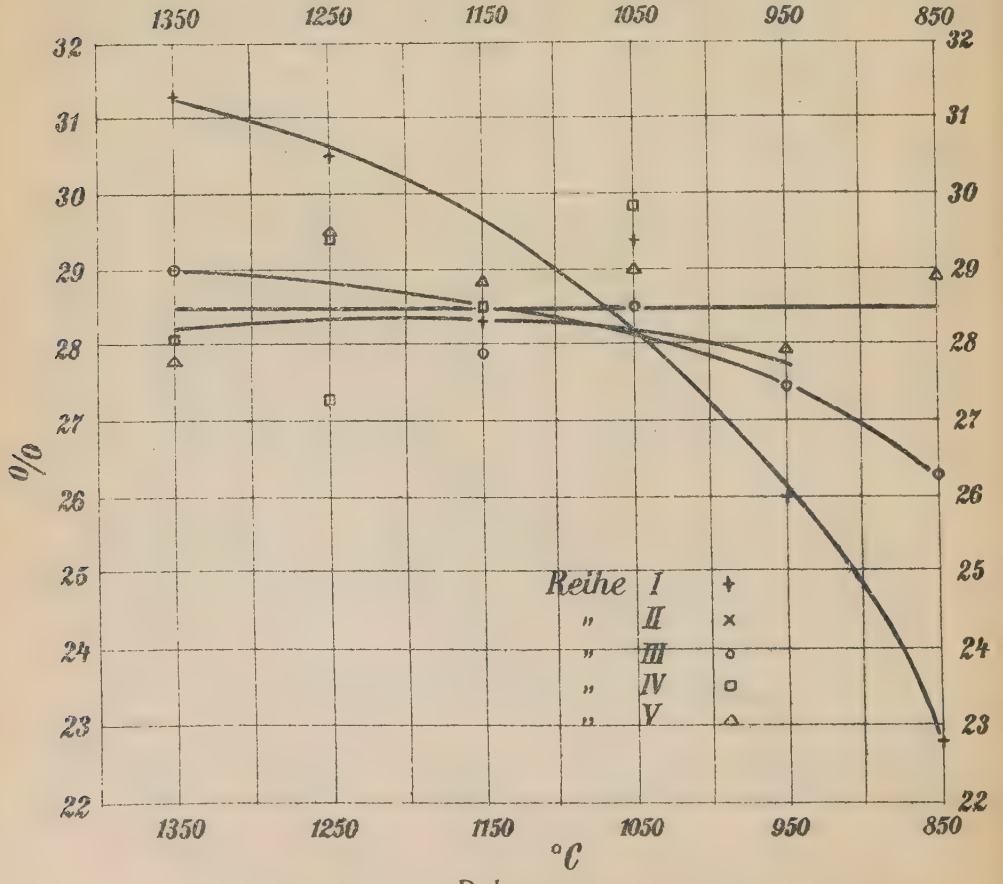
Fließgrenze.

Abb. 75.



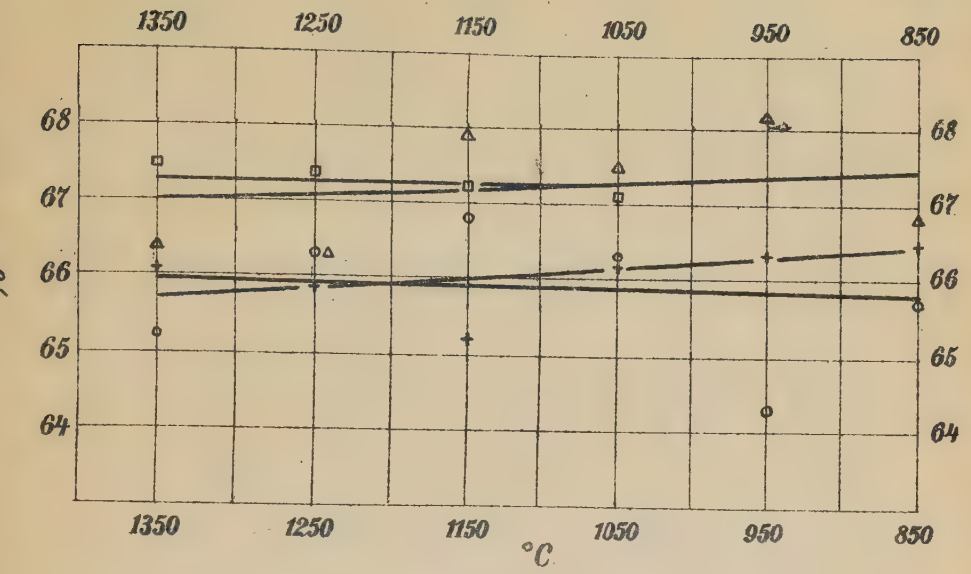
Festigkeit.

Abb. 76.



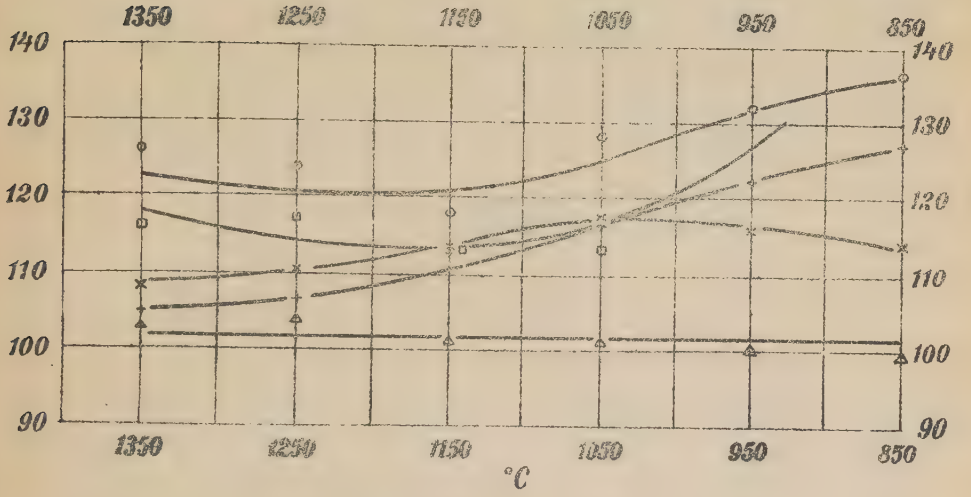
Dehnung.

Abb. 77.



Kontraktion.

Abb. 78.



Reihe I +
" *II* ×
" *III* ○
" *IV* □
" *V* △

Härtezahlen.

Lebenslauf.

Ich bin geboren am 2. April 1886 in Essen (Ruhr), besuchte die Volksschule, sodann die Realgymnasien in Essen und Altena i. W. und erhielt das Reifezeugnis an letzterer Anstalt Ostern 1906. Nach Erledigung meiner praktischen Arbeitszeit studierte ich an der Technischen Hochschule in Aachen Eisenhüttenkunde und bestand daselbst im Juli 1912 das Diplomexamen. Im Oktober 1912 begann ich an der Technischen Hochschule zu Breslau die Versuche zu der vorliegenden Dissertation, die mich bis November 1913 in Anspruch nahm. Seit diesem Datum bin ich in der metallographischen Abteilung der Firma Krupp A.-G. in Essen tätig.

Bild 1.

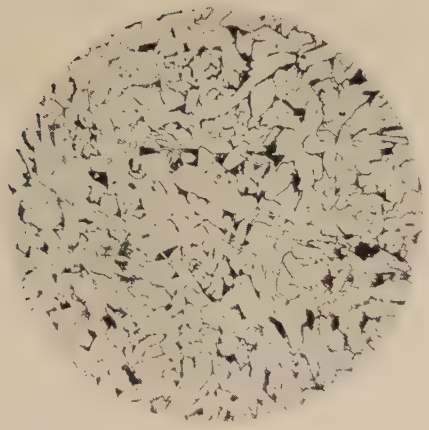


Bild 2.

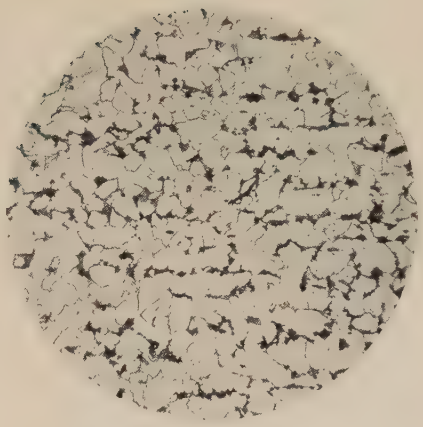


Bild 3.

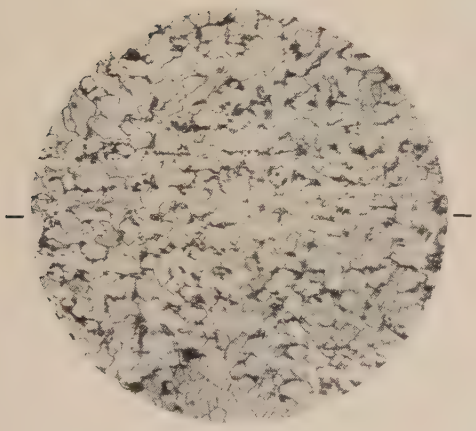


Bild 4.

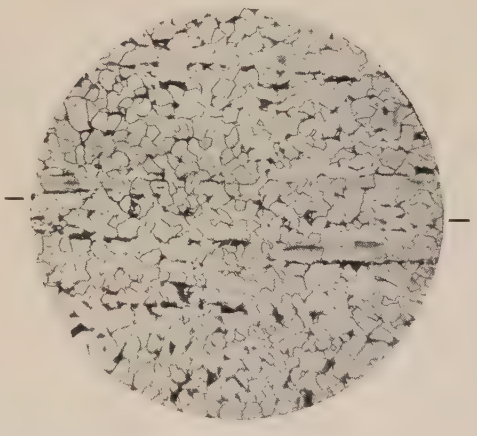


Bild 5.

Bild 6.

Bild 7.

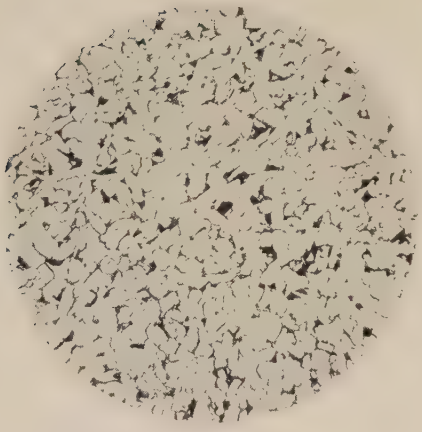


Bild 8.

Bild 9.

Bild 10.

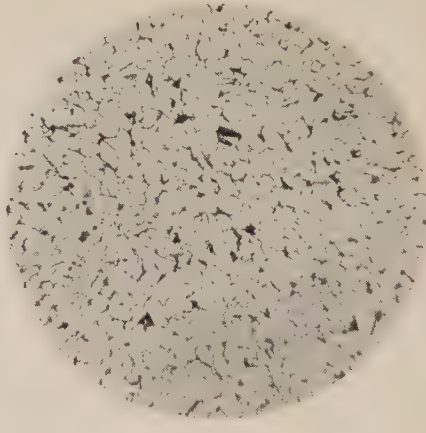


Bild 11.

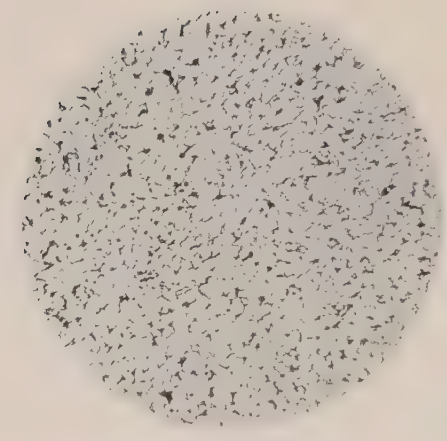


Bild 12.

Die vorliegende Arbeit wurde im Eisenhüttenmännischen Institut der Kgl. Techn. Hochschule zu Breslau ausgeführt. Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Professor *Simmersbach* für die tatkräftige Förderung meiner Arbeiten, sowie Herrn Professor Dr.-Ing. *Oberhoffer* für die vielfachen Ratschläge und Anregungen meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.